PASTEUR (1)

RENÉ J. DUBOS

BIBLIOTECA SALVAT DE
GRANDES BIOGRAFIAS

PASTEUR

(Volumen primero)

RENE J. DUBOS

Prólogo

PEDRO LAIN ENTRALGO

SALVAT

Versión española de la obra original inglesa: *Louis Pasteur.*

Traducción del inglés a cargo de Francisco Guerra, cedida por Ediciones Grijalbo.

Las ilustraciones cuya fuente no se indica proceden del Archivo Salvat.

© Salvat Editores, S.A., Barcelona, 1985
© Charles Scribner's Sons.
ISBN: 84-345-8145-0 (obra completa)
ISBN: 84-345-8163-9
Depósito legal: NA-1205-1984 (I)
Publicado por Salvat Editores, S.A., Mallorca, 41-49 - Barcelona.
Impreso por Gráficas Estella. Estella (Navarra), 1985.
Printed in Spain.

Indice

	Página
Prólogo	9
1. El siglo maravilloso	19
2. La leyenda de Pasteur	32
3. Pasteur en acción	67
4. Desde los cristales a la vida	93
5. La domesticación de la vida microbiana	112
6. La generación espontánea y el papel de los gérmenes en la economía de la naturaleza	152
7. La unidad bioquímica de la vida	175

Louis Pasteur (1822-1895)

Louis Pasteur, químico y bacteriólogo francés, nació en Dôle el año 1822. Después de acabar el bachillerato efectuó los exámenes para ingresar en la Escuela Normal de París, donde se dedicó por completo al estudio de la química y la física. En 1848 descubrió la composición del ácido racémico y al año siguiente fue nombrado profesor de química de la Universidad de Estrasburgo. Trasladado en 1854 a la Universidad de Lille como titular de la cátedra de química y decano de la facultad de Ciencias, Pasteur se ocupó de estudiar la fermentación alcohólica. Gracias al estudio de las fermentaciones, elaboró el método de la pasteurización y entró de lleno en el mundo de los microorganismos. Sus investigaciones en este campo le llevaron a descubrir los agentes patógenos causantes del carbunco y la gangrena gaseosa, además del estafilococo y el estreptococo. Sus últimos trabajos estuvieron dedicados a extender la vacuna a otras enfermedades, especialmente la rabia, pudiendo confirmar el 17 de julio de 1885 que la posibilidad de curación de este mal en el hombre era ya una realidad. Dirigió el Instituto Pasteur, organización fundada mediante suscripción internacional. Louis Pasteur murió en Villeneuve l'Etang el año 1895.

◀ *Louis Pasteur a los sesenta y siete años de edad.*

Tubos de laboratorio conteniendo cultivos. Instituto Pasteur, París.

Prólogo

Pasteur en la historia

*por **Pedro Laín Entralgo***

Pocos, poquísimos médicos, si ha habido alguno, han ejercido tanta influencia sobre el curso histórico de la medicina como un hombre que no fue médico, el químico Louis Pasteur; y muy pocos sabios han logrado durante su vida y después de su muerte una fama tan extensa y resonante como la que Louis Pasteur logró. Los lectores de este libro conocerán sin esfuerzo una versión autorizada de las razones por las cuales consiguió ese químico tal influencia y tal fama. Muy sumariamente, voy a ofrecerles algunas reflexiones sobre la significación de la obra pasteuriana en la historia del saber científico, y otras, más breves, sobre la persona de su genial creador.

La obra de Pasteur

La sucesión de los cuatro grandes temas en que a lo largo de su vida trabajó Pasteur —disimetría molecular, fermentaciones, enfermedades infecciosas de los animales, enfermedades infecciosas del hombre— viene a ser la de los tiempos de una sonata. Aunque, como pronto veremos, algo en ella rompa la interna unidad que en la sonata se despliega.

I. Consiguió Pasteur su primera notoriedad como hombre de ciencia con sus investigaciones acerca de la relación entre la forma de los cristales de ácido tartárico y su diversa acción sobre el plano de polarización de la luz. Para quien no haya olvidado por completo la física y la química de sus años escolares, no será difícil entender la significación y la importancia de los descubrimientos de Pasteur en esa primera etapa (1847-1857) de su labor científica. Mediante una impecable serie de observaciones y experimentos, demostró con toda evidencia cuatro hechos capitales: que el ácido tartárico puede cristalizar bajo dos formas simétricas, sólo diferentes entre sí, por tanto, como entre sí difieren el guante de la mano derecha y el guante de la mano izquierda; que una de esas dos formas hace girar el plano de polarización de la luz hacia la derecha (forma dextrógira, ácido dextrotartárico) y la otra hacia la izquierda (forma levógira, ácido levotartárico); que el llamado ácido racémico, ópticamente inactivo, no es sino una mezcla en pro-

porciones iguales de los ácidos dextrotartárico y levotartárico; que el ácido racémico puede hacerse ópticamente activo si por diversos procedimientos, uno de ellos la fermentación, la acción de determinados microorganismos, es destruida la mitad dextrógira o la mitad levógira de la mezcla.

Este conjunto de hechos podía ser teóricamente interpretado en dos planos. Uno inmediatamente próximo a lo observado, consistente en pensar que las propiedades ópticas de una molécula, y por extensión sus propiedades químicas, dependen no sólo de la índole de los átomos que la componen, sino también de la respectiva situación de ellos en el espacio. Así lo entendió Pasteur; con lo cual vino a convertirse en fundador de la llamada estereoquímica, ulterior obra insigne de Van't Hoff y Le Bel. Más ambiciosas aún, en cuanto partes integrales de toda una visión del mundo, eran las ideas pertenecientes al segundo plano de la interpretación. Muy sumariamente, consistían en pensar que la disimetría —electricidades positiva y negativa, polos norte y sur de las fuerzas magnéticas, estructura de ciertas moléculas— es una ley fundamental del universo, y que la vida —la constitución y la actividad propias de los seres vivientes— tiene una de sus bases estructurales en la acción de fuerzas disimétricas. Esta hipótesis, suscitada principalmente por el hecho de que la destrucción fermentativa del ácido tartárico dextrógiro es específica respecto de él, y deja por tanto indemne al ácido tartárico levógiro, le movió a demostrar experimentalmente que la «ley de la disimetría» regula la germinación y el crecimiento de las plantas. «Si tiene éxito con los experimentos que ha emprendido este año —escribía a su suegro la joven señora de Pasteur—, tendremos un nuevo Newton o un nuevo Galileo.»

No tuvieron éxito esos experimentos; pero la aparición, dentro del horizonte mental de Pasteur, del fenómeno de la fermentación, y con él la exquisita especificidad de las acciones fermentativas, tuvieron parte esencial en la ulterior orientación de la investigación pasteuriana.

II. Cuando Pasteur acababa de descubrir el campo de las fermentaciones, tuvo que dejar Estrasburgo por Lille (1854), de cuya nueva facultad de Ciencias había sido nombrado decano, y este ascenso en su vida académica le puso en contacto con varias industrias —alcohol, vino, cerveza— muy directamente relacionadas con el hecho biológico de la fermentación. Así, la elaboración de la estereoquímica, tan felizmente iniciada por Pasteur, quedó reservada a Van't Hoff y Le Bel, y el químico cristalógrafo fue rápidamente arrastrado hacia el tema que tanta gloria había de darle: la varia acción «fermentativa» de ciertos microorganismos y la aplicación práctica de los resultados obtenidos por el conocimiento científico de ella.

En 1856, un industrial de Lille pidió a Pasteur que estudiara el modo de evitar la acidificación del alcohol obtenido por fermentación de la remolacha. Accedió el ya experto investigador, y mediante un metódico examen microscópico pronto pudo observar la existencia de dos especies de «fermentos»: unos más redondeados, responsables de

la fermentación alcohólica, y otros más alargados, agentes de la fermentación ácida, en este caso láctica; con lo cual pudo fácilmente idear un sencillo método —más tarde llamado «pasteurización»— para que no se agriase el producto de la fermentación alcohólica, fuese éste el alcohol de remolacha, el vino o la cerveza. Ya en esa senda, Pasteur estudió la fermentación butírica, que le condujo a descubrir el carácter anaerobio de ciertos microorganismos, y el mecanismo de la conversión del vino en vinagre, obra del hongo microscópico Mycoderma aceti.

¿En qué consiste, qué realidad tiene la causa inmediata de los procesos fermentativos? Para un investigador no sólo preocupado por la aplicación práctica de sus hallazgos, tal interrogación era ineludible. Desde que en el primer tercio del siglo XIX *se inició el estudio científico de las fermentaciones, dos modos de concebirlas pugnaban entre sí. Para muchos, con Berzelius, Liebig y Cl. Bernard a su cabeza, la fermentación sería un fenómeno puramente químico, enteramente equiparable al que poco antes el propio Berzelius había denominado «catálisis». Para otros, como Cagniard de Latour y Schwann, toda fermentación tendría como agente un microorganismo —los «glóbulos» que el microscopio permitía descubrir en las levaduras y en los líquidos fermentativamente alterados— específicamente propio de ella. Movido por sus hallazgos microscópicos y por sus ideas acerca de la vida, Pasteur se alineó con estos últimos, del modo más entusiasta. «Toda fermentación es obra de un microbio especial», sólo a la actividad de un ser viviente pueden ser atribuidas las acciones fermentativas, afirmará una y otra vez. Su muerte le impidió conocer el definitivo descubrimiento de fermentos solubles y ultrafiltrables (E. Büchner, 1897), y por tanto el triunfo de la doctrina de Liebig y Cl. Bernard. La tesis pasteuriana sólo puede ser mantenida hoy sustituyendo en ella el término «microbio» por el término «fermento», y entendiendo éste como «enzima»; es decir, no atribuyendo al «fermento» condición de organismo vivo.*

En esta idea de la fermentación y de la vida tuvo su fundamento la actitud de Pasteur en su polémica con Félix Archimède Pouchet acerca de la llamada «generación espontánea», constante motivo de discusión desde el célebre omne vivum ex vivo, *de Francesco Redi.*

Los antiguos, los medievales y muchos sabios del Renacimiento admitieron sin violencia que el calor solar puede hacer que el barro produzca gusanos: lo vivo podría engendrarse de lo no vivo. ¿Es así, en realidad? ¿Puede hoy la naturaleza engendrar por sí misma nuevas formas vivientes, o hay que atenerse a una interpretación literal del texto del Génesis acerca de la creación del mundo? En el siglo XVII *demostró experimentalmente Redi la validez del principio* omne vivum ex vivo *—lo vivo procede siempre de lo vivo— respecto de los gusanos y los insectos: si se impide que lleguen moscas a la carne en putrefacción, en ésta no se producen «gusanos» (larvas). ¿Podría sostenerse lo mismo respecto de los «animálculos infusorios» que el microscopio hizo ver? Cien años después, y frente a las tesis de Needham y Buffon, comprobó Spallanzani que, en cuanto a los infusorios atañe, el* omne vivum ex vivo *también se cumple: esos «animálculos» no se forman por generación*

espontánea. Pero en la naturaleza hay seres vivientes más pequeños y más simples que los infusorios; por ejemplo, los agentes de las fermentaciones, los «glóbulos» que Cagniard de Latour, Schwann y el propio Pasteur han visto en las levaduras y en los líquidos en fermentación, las bacterias que el naturalista Cohn está describiendo. Pues bien: en los procesos fermentativos, ¿se cumple o no se cumple el omne vivum ex vivo*? Tal era la cuestión en torno a la cual contendieron Pouchet y Pasteur entre 1859 y 1866.*

En 1858, Pouchet comunicó a la Academia de Ciencias de París la posibilidad de hacer aparecer «animálculos y plantas en un medio carente de aire atmosférico y en el que, por consiguiente, no podían existir gérmenes de seres organizados». El problema era de capital importancia para Pasteur, que a la sazón ya había iniciado sus estudios sobre la fermentación alcohólica del azúcar. Los gérmenes organizados que Cagniard de Latour y Schwann han visto en la levadura, los glóbulos que él encuentra en el jugo de remolacha en fermentación, ¿surgen espontáneamente en el líquido fermentescible o han llegado a él desde fuera? En una serie de experimentos clásicos, Pasteur demostró de modo incuestionable que la fermentación de un líquido fermentescible previamente hervido no se produce cuando a ese líquido no puede llegar el aire (matraces «en cuello de cisne») o llega aire no contaminado (experimentos en el Mont-Blanc). Pocos años después obtenía las mismas conclusiones el físico inglés John Tyndall; y cuando Cohn descubrió en 1876 la relativa termoestabilidad de las esporas bacterianas, la cuestión pareció quedar definitivamente resuelta. Lo que Redi había demostrado respecto a los gusanos y los insectos en el siglo XVII, y Spallanzani respecto a los infusorios en el siglo XVIII, quedaba desmostrado en el XIX, por obra de Pasteur, respecto a los agentes de la fermentación. En nuestro siglo, ¿cómo se resolverá el problema biológico de los virus y el de la biogénesis, frente a los cuales, bajo forma nueva, vuelve a plantearse esa constante interrogación del mundo moderno?

Pasteur se hallaba convencido de que la vida es una actividad de la realidad sensible enteramente irreductible a las leyes de la materia, y era creacionista y no evolucionista en cuanto al origen de los seres vivientes; de ciencia no quería ir más allá de lo que sus observaciones y experimentos le permitían afirmar. «Busco a la generación espontánea sin descubrirla —escribiría más tarde— desde hace veinte años, mas no lo juzgo imposible. ¿Qué os autoriza, sin embargo, a pretender que ella haya sido el origen de la vida? Colocáis la materia antes que la vida y hacéis a la materia existente desde la eternidad. ¿Quién os dice que el progreso incesante de la ciencia no obligará a los sabios dentro de un siglo, de mil años o de diez mil, a afirmar que es la vida lo que existe desde la etenidad, y no la materia?» Devotamente fiel al «espiritualismo» de su tiempo, como si tal ideología fuese la única expresión válida de la concepción cristiana del mundo, Pasteur se lanzaba así hacia especulaciones difícilmente sostenibles. Quien confiesa la existencia de una vida no material y eterna, la divina, ¿puede acaso equiparar a ella, como el precedente texto sugiere, la vida material y temporal de una bacteria o un infusorio?

III. El enorme prestigio que dieron a Pasteur sus investigaciones sobre las «enfermedades» del vino y la cerveza y su polémica con Pouchet, apasionadamente seguida en Francia por todo el público culto, hizo ver en él un infalible detective *de cualquier desorden natural, y sin que él se lo propusiera le condujo hacia un nuevo campo de investigación: las enfermedades de los animales, en cuanto presumiblemente causadas por gérmenes vivientes; entre ellas, las del gusano de seda, el carbunco, el cólera de las gallinas, la erisipela del cerdo y la peripneumonía de los bovinos.*

Para combatir una plaga que devastaba la industria sedera de toda Europa, el gran químico Dumas encomendó a su antiguo discípulo el estudio de la enfermedad causante del daño. Pasteur se instaló en Alais, centro de la sericicultura francesa, y después de una serie de pesquisas que duraron varios años (1866-1870) pudo demostrar que los gusanos de seda padecían dos enfermedades distintas —la pébrine *o «enfermedad de los corpúsculos», hereditaria, y la* flacherie, *no hereditaria y semejante al cólera—, y descubrir, en consecuencia, el drástico modo de evitarlas: destruir todos los gusanos y los alimentos contaminados y recomenzar el proceso industrial con gusanos sanos. Fue seguido su consejo, y la industria sedera se salvó.*

Más próximo a la patología humana se hallaba el problema del carbunco, grave epizootia en varias comarcas francesas, y muy principalmente en los «campos malditos de la Beauce», donde el 20 por ciento de las ovejas moría de «mal de bazo». Una práctica tan importante para la humanidad entera como la vacunación preventiva nació de este nuevo capítulo de la obra pasteuriana.

Antes de los trabajos de Pasteur, la enfermedad carbuncosa había sido investigada por varios autores: Delafond, Pollender, Davaine, Koch. Davaine descubrió la bacteridia carbuncosa en la sangre de los animales muertos de carbunco, y pudo demostrar que la inyección de esa sangre en el cuerpo de animales sanos reproduce la enfermedad. Por su parte, Koch logró cultivar la bacteridia en humor acuoso, observó por vez primera su esporulación y describió el ciclo biológico del germen. Poco después, una magistral serie de experimentos, realizados en las inmediaciones de Chartres, permitió a Pasteur obtener las siguientes conclusiones: 1.ª Los animales contraen la enfermedad al comer pastos infectados y capaces de erosionar las vías digestivas. 2.ª Enterrada una oveja muerta de carbunco, los gérmenes patógenos son transportados hasta la superficie del suelo por intermedio de las lombrices de tierra. 3.ª Las gallinas se hacen sensibles al carbunco cuando se las somete a un baño de agua fría. 4.ª Los animales se hacen resistentes a la infección cuando previamente se les ha inyectado cierta cantidad de cultivo de bacteridias cuya virulencia ha sido atenuada por el calor. Una observación casual en el curso de sus trabajos sobre el cólera de las gallinas suscitó en Pasteur la idea de este espléndido hallazgo; con él, después de las célebres inoculaciones jennerianas, la vacunación preventiva —el término «vacunación» fue ideado por el mismo Pasteur, como homenaje a Jenner— quedaba definitivamente acuñada (1880-1881).

IV. Ya en el curso de sus estudios sobre la fermentación, la idea de que las enfermedades contagiosas humanas tienen su causa en la acción de ciertos «gérmenes» sobre el organismo venía operando en la mente de Pasteur. No era ciertamente nueva. Desde Fracastoro, en pleno Renacimiento, una y otra vez fue enunciada la hipótesis del contagium animatum *(Harvey, Kircher, Lange, Hauptmann, Rivinus). Pero la edificación experimental y doctrinal de una* pathologia animata *rigurosamente científica fue obra de la medicina del siglo* XIX *y altísimo mérito suyo.*

Entre los iniciadores de esa obra son dignos de mención los italianos Enrico Acerbi y Agostino Bassi. Acerbi sostuvo en 1822 que los agentes de las enfermedades contagiosas son sustancias específicas organizadas, capaces de reproducirse como todos los seres vivientes. Bassi, un aficionado a las ciencias naturales, logró demostrar en 1835 que la enfermedad contagiosa del gusano de seda llamada mal del segno o mal del calcino *es producida por un parásito vegetal y criptogámico, lo cual le condujo a afirmar temáticamente que las enfermedades contagiosas son efecto de «sustancias vivas; especies de parásitos vegetales y animales». Lugar eminente ocupa también, entre los precursores de la microbiología médica, el gran morfólogo J. Henle, que en su libro* Von den Miasmen und von den miasmatischen Krankheiten *(1840) sostuvo el origen microbiano de las enfermedades contagiosas y la condición específica de los gérmenes que las producen; tesis que poco después harían suya los clínicos franceses Bretonneau y Trousseau. Pero todo ello no rebaja un ápice el mérito y la gloria de los dos máximos creadores de la microbiología médica, Pasteur y Koch.*

Entre 1875 y 1878, la decisión de consagrar íntegramente su actividad al estudio de la etiología de las enfermedades contagiosas del hombre va cobrando cuerpo en el ánimo de Pasteur. «Busquemos los microbios», solía decir a sus colaboradores. En el orden de los hechos, los hallazgos se suceden. En el pus del forúnculo y en los focos de osteomielitis descubre «microbios en grupos de granos» (el estafilococo); en enfermas afectas de fiebre puerperal, «microbios en rosarios de granos» (el estreptococo); en ciertos casos de septicemia, el vibrión séptico, cuyo carácter anaerobio establece; y aunque no logrará aislar el agente productor de la rabia, sus ideas acerca de las enfermedades contagiosas le permitieron vencerla. No puede extrañar que ya en 1878 enunciase formalmente en la Academia de Medicina su théorie des germes*: las enfermedades contagiosas son producidas por la acción de gérmenes vivientes que no se forman en el organismo, sino que penetran en él, y la especificidad de cada una de ellas depende de la especie del germen que la produce.*

El tratamiento preventivo de la rabia, cuyos terribles efectos, contemplados por él, de niño, en su pueblo natal, habían dejado en su alma muy honda huella, iba a llevar hasta su más alta cima el renombre universal de Pasteur. Como portavoz de la humanidad entera, Renan, encargado de la respuesta a su discurso de ingreso en la Academia Francesa (1882), se creyó obligado a mencionar esa hazaña, entonces to-

davia inconclusa: «La humanidad os deberá la supresión de una terrible enfermedad y la desaparición de nuestra anómala desconfianza ante las caricias del animal con el que la naturaleza se nos muestra más benévola.» Aplicando a la acción de un agente patógeno todavía no conocido lo que en el caso de la infección carbuncosa él mismo había descubierto —la eficacia profiláctica de los gérmenes artificiales atenuados—, consiguió transmitir la rabia al conejo y pudo obtener de éste emulsiones de médula espinal cuya inyección evitaba en el perro la aparición de la hidrofobia. ¿Respondería en la misma forma el organismo humano? En 1885, el niño alsaciano Joseph Meister, mordido en distintas partes de su cuerpo por un perro rabioso, fue llevado al laboratorio de Pasteur en demanda de ayuda. Ante la inminencia de un cuadro clínico seguramente mortal, el sabio consideró deber ineludible arriesgarse a la práctica del tratamiento preventivo. Duró éste diez días, que para Pasteur fueron de enorme zozobra —no podía dormir, no podía trabajar— y muy viva esperanza: «Quizá se está gestando uno de los mayores acontecimientos médicos del siglo», escribió a su yerno. Joseph Meister quedó íntegramente sano; y salvo en el caso de la niña Louise Pelletier, que no pudo ser tratada hasta 37 días después de mordida, idéntico fue el éxito de la nueva vacunación en los muchos casos en que a continuación fue ensayada. A la vez que, por obra de Lister, la aplicación consecuente de la «teoría de los gérmenes» estaba abriendo una etapa nueva en la historia de la cirugía, el triunfo de la vacunación antirrábica era noticia en la prensa del mundo entero.

La persona de Pasteur

La sucesión de los cuatro grandes temas a que Pasteur consagró su genial talento puede ser equiparada, es cierto, a la de los tiempos de una sonata; pero algo la hace abrupta, cuantas veces es el azar y no la libre elección lo que pone novedad en la realización de la vocación y el carácter del sabio.

Ahora lo vemos claro. Los trabajos acerca de la disimetría molecular del ácido tartárico iniciaban dos caminos hacia el futuro: la elaboración de la disciplina teórica que con ellos nacía, la estereoquímica, y el estudio experimental de las fermentaciones, de las cuales era tan sugestivo ejemplo la destrucción selectiva del ácido dextrotartárico. Un hecho puramente azaroso, el traslado de Pasteur a Lille, hizo que fuese este segundo camino el elegido. Nueva etapa, pues, en la obra de Pasteur. Pero, a su vez, el estudio de las fermentaciones, en el que se unían motivos netamente científicos e intereses claramente industriales, ofrecía al investigador otras dos posibles vías: una más teorética, conducente hacia la ciencia, a un tiempo química y biológica, de los procesos fermentativos y sus causas —la actual enzimología, la senda que a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX siguieron Büchner, Willstätter, Von Euler y Sumner—, y otra más práctica, orientada hacia el análisis y el gobierno de la varia actividad de los «fermentos», tanto en

la industria como en la patología de los animales útiles al hombre. Una amistosa propuesta de Dumas —nueva incitación azarosa y externa— puso a Pasteur ante el problema teórico-práctico de las enfermedades del gusano de seda; y la brillante eficacia con que supo resolverlo dio lugar a que los ganaderos de las regiones devastadas por el «mal de bazo» solicitasen de él la solución de otro no menos grave, el conocimiento científico y el consiguiente remedio de la enfermedad que año tras año les arruinaba. Con lo cual el sabio, además de afirmarse en una convicción errónea, la atribución de carácter microbiano a los fermentos, se veía ante una nueva opción: o la conquista de un más acabado saber biológico acerca de los microorganismos que el microscopio iba poniendo ante sus ojos, con la consiguiente elaboración metódica de su temprana «teoría de los gérmenes» —esto es: la paulatina edificación de dos nuevas disciplinas científicas, la microbiología médica y la inmunología; la obra que acometieron Koch y Ehrlich—, o la utilización de sus experiencias como ocasional veterinario en la aventura de conseguir para el hombre lo que para las ovejas había logrado, la vacunación preventiva. No otra cosa fue para él su combate contra la rabia, y éste seguía siendo el horizonte de su actividad científica durante los años finales de su vida.

¿Qué puede decirnos, respecto de la persona de Pasteur, esta concisa sinopsis de su biografía científica? Nos hace ver en él, pienso yo, un investigador extraordinariamente sensible a la experiencia inmediata de su mundo y genialmente dotado para la rápida solución causal, a un tiempo científica y pragmática, de los problemas que esa experiencia le proponía. En un ensayo que fue famoso, Kretschmer contrapuso dos modos de realizarse la genialidad intelectual, correspondiente uno al biotipo leptosomático (metafísicos, teólogos matemáticos) y conexo el otro con el biotipo pícnico (naturalistas, médicos en que predomina el talento visual). Sea cual fuere la validez última de esa tajante contraposición, bien puede afirmarse que Pasteur fue un claro ejemplo de la genialidad pícnica, y que desde ella pueden ser aceptablemente explicados no pocos de los rasgos de su personalidad como hombre de ciencia. Su honda y viva sintonía con el mundo, así en el orden cósmico como en el orden social, permite entender las inflexiones de su carrera científica, constantemente determinadas por incitaciones del entorno, la índole reciamente experimental y utilitaria de su ingente aportación al saber, la relativa debilidad de sus escasas construcciones especulativas, a las que siempre fue reacio, su permanente y viva disposición a la polémica, el modo entusiasta y directo de su nacionalismo, la efusiva cordialidad de sus relaciones amistosas y familiares, su bien legítima atención hacia el aspecto económico de las hazañas científicas que le hicieron célebre. Bajo la acción de un vario conjunto de motivos —la profunda admiración que en todos despierta su obra, los inmensos beneficios que para la humanidad entera esa obra ha traído y, desde luego, la indudable bondad de su carácter—, los biógrafos de Pasteur han solido dar un cariz devotamente hagiográfico al relato de su vida. No creo, sin embargo, que la altísima calidad intelectual y moral del

gran sabio deba impedirnos ver en él todo lo que como hombre fue. Sólo un insobornable amor a la verdad, a toda la verdad, puede hacer dignamente una biografía. Aunque ésta lo sea de un verdadero santo.

Mundo y carácter modularon así mismo la actitud de Pasteur ante las ultimidades de la existencia, y en consecuencia ante la religión. Hombre sinceramente religioso fue Pasteur; pero, contra lo que acaso debiera esperarse de un auténtico sabio, lo fue de modo mucho más sentimental que intelectual. Defendiendo sus ideas científicas, dijo en la Academia de Medicina: «Si al proseguir mis estudios experimentales llegara a demostrar que la materia puede organizarse por sí misma y dar nacimiento a células o a seres vivos, vendría a este recinto con la legítima satisfacción de haber realizado un descubrimiento capital... ¿Dedúcese de esto que yo acomodo mi conciencia o mi conducta únicamente a los resultados científicos bien establecidos? Aunque así lo quisiera, no podría hacerlo, porque para ello tendría que despojarme de una parte de mí mismo. En cada uno de nosotros hay dos seres: el hombre de ciencia, *que hace tabla rasa en todo y quiere remontarse hasta el conocimiento de la Naturaleza por medio de la observación, el experimento y el raciocinio, y el* hombre sensible, *que vive de la tradición, de la fe, de los sentimientos, el hombre que llora a sus hijos muertos y cree que volverá a verlos... Estos dos seres son distintos, y desdichado aquel que, con los precarios conocimientos actuales, desea que uno de ellos predomine sobre el otro.» La idea de Dios, «que no es sino una forma de la noción de lo infinito» —dirá ante la Academia Francesa, en su ritual elogio de Littré—, es a la vez necesaria e incomprensible; y cuando esa noción «cautiva nuestro entendimiento, sólo nos resta prosternarnos». Presa de profunda angustia, el espíritu alcanza entonces «la sublime locura de Pascal» y vive consoladoramente «el sentimiento de lo sobrenatural».*

El conflicto entre la razón y la fe, la radical inconciabilidad de una y otra, la necesidad de moverse en el seno de esa dialéctica cuando el creyente es científico y el científico es creyente, la convicción de que es el sentimiento la vía más idónea para el acceso del alma humana a la divinidad —en suma: los más centrales motivos de la religiosidad intelectual, cuando ésta había de afirmarse frente al acoso del agnosticismo positivista, como era el caso en la Francia de Pasteur— cobran nítida expresión en esos textos. El mundo del sabio creyente que fue Pasteur modulaba de muy visible y eficaz manera su pensar y su sentir; pero esa modulación se hacía rasgo personal, carácter, en cuanto que afectaba a un alma muy vivaz y sentimentalmente sensible al mundo en que existía.

Así fue hombre Louis Pasteur, y así fue sabio, francés y creyente. Desde nuestra situación científica e intelectual, un siglo posterior a la suya, nada más fácil que señalar sus ocasionales limitaciones. Pero, a la vez, nada más obligado que reconocer su inmortal grandeza. Porque pocos, muy pocos sabios han logrado lo que con su obra Pasteur logró: que la vida de todos los hombres se haya hecho más larga y menos dura.

1. El siglo maravilloso

*«Aun cuando los caminos del poder y del conocimiento humanos yacen juntos, y son casi los mismos, a pesar de todo... es mejor empezar y hacer desarrollar las ciencias a partir de aquellos cimientos que tienen relación con la práctica, y dejar que la propia parte activa sea como el sello que imprime y determina la contraparte contemplativa.»—*FRANCIS BACON

Louis Pasteur nació el 27 de diciembre de 1822 en Dôle, en el este de Francia, donde su padre era propietario y dirigía una pequeña tenería. Cuando Pasteur murió el 28 de septiembre de 1895, en Villeneuve l'Etang, cerca de París, su nombre se había hecho legendario, como el de un héroe que usó la ciencia para dominar la naturaleza en beneficio de la humanidad. Muchos campos resultaron abiertos o enriquecidos por su labor: la estructura de la molécula química; el mecanismo de la fermentación; el papel que desempeñan los microorganismos en la bioquímica, en tecnología, en la enfermedad; la teoría y práctica de la inmunización; el plan de la higiene pública. Pero la importancia de sus descubrimientos no es en sí suficiente para responder por su inmensa fama. Entre los contemporáneos de Pasteur, varios le igualaron y unos pocos sobrepasaron sus realizaciones científicas, pero solamente de él se dijo que «era el hombre más perfecto que había jamás entrado en el reino de la ciencia», ya que el nombre de Pasteur evoca no solamente la memoria de un gran científico, sino también la de un cruzado que dedicó su vida al bienestar del hombre.

Hay muchos rasgos en la personalidad de Pasteur que magnifican enormemente la importancia de sus contribuciones científicas a la sociedad. Su profundo conocimiento de los problemas de su ambiente, su ansia por participar en su solución, su apasionado deseo de convencer a sus opositores, su infatigable vigor y destreza en la controversia, todas estas características fueron tan importantes como su genio experimental a la hora de convertirle no solamente en el brazo, sino también en la voz, y finalmente en el símbolo, de la ciencia triunfante.

En realidad, Pasteur alcanzó este gran éxito popular debido al sacrificio de ambiciones más elevadas. Cuando era joven, había planeado dedicar su vida al estudio de problemas teóricos excelsos: la estructura fundamental de la materia y el origen de la vida; pero, en vez de ello, pronto comenzó a dedicar más y más tiempo a cuestiones prácticas, planteando problemas cuya naturaleza estaba en relación con las preocupaciones inmediatas de su tiempo.

Aunque fue sin duda alguna uno de los más grandes experimentadores que han existido, no creó una nueva filosofía científica, como lo hicieron Galileo, Newton, Lavoisier y otros hombres geniales que él tanto deseara emular. A pesar de todo, Pasteur conservó hasta el final la esperanza juvenil de obtener, a través de la ciencia, una visión interior de los problemas de la filosofía natural, y en la mayor parte de sus escritos se proponen amplias teorías químicas y fisiológicas al lado de los detalles para la aplicación práctica de sus descubrimientos. Educado en la tradición clásica de la Ilustración francesa, reverenciaba el método experimental como el oráculo que revelaría al hombre las leyes universales del mundo físico; como hijo del siglo XIX, por otra parte, respondió al impacto del asombroso poder exhibido por las ciencias exactas para solucionar los problemas técnicos de la civilización industrial. En verdad, simboliza la posición alcanzada por la ciencia en 1850, cuando la tecnología experimental iba reemplazando en las preocupaciones de la mayoría de los hombres de ciencia a la filosofía natural. La teoría y la práctica lucharon por dirigir la vida de Pasteur, del mismo modo que por controlar su tiempo.

Hasta el siglo XIX, la sociedad había exigido poco del hombre de ciencia, menos que del artista, de quien, según la moda de la época, se esperaba que ilustrase las Sagradas Escrituras, que describiese la vida suntuosa de Pompeya o Venecia, la atmósfera burguesa de Flandes, o la pompa de Luis XIV. Desde mucho tiempo atrás, bien es verdad que matemáticos y físicos habían servido a gobiernos y príncipes como arquitectos —construyendo para ellos tumbas y palacios, murallas y catapultas, puertos, barcos, canales y caminos—, mientras que la mayor parte de los naturalistas, alquimistas y químicos habían sido médicos, dedicando parte de su talento al arte de curar o de componer venenos.

Había bastado al hombre de ciencia el que sus actividades encajaran, en general, con las preocupaciones del día; podía buscar la síntesis del oro o del elixir de la vida; investigar los fenómenos naturales para hacer manifiesta la gloria de Dios, o satisfacer la curiosidad del hombre; o, en el mejor de los casos, diseñar algunos instrumentos o técnicas con los que hacer la vida más fácil y más entretenida. Además, la ciencia era más que nada preocupación de la mente filosófica, más deseosa de penetrar los misterios del universo que de controlar la naturaleza.

Este punto de vista había dictado la actitud aun de aquellos comprometidos en estudios de importancia práctica inmensa. Por ejemplo, Harvey, cuyos descubrimientos fisiológicos fueron el comienzo de la medicina científica, legó sus bienes al Royal College of Physicians con la especificación de que las rentas se usaran «para investigar y estudiar los secretos de la naturaleza»; no expresó mucho interés en las consecuencias prácticas de esta búsqueda.

Los hombres geniales del siglo XVII habían descubierto muchas de las leyes fundamentales del mundo físico. Durante el siglo siguiente, los científicos de la Ilustración sacaron partido de las consecuencias filosóficas de estas leyes en la confianza de que habían llegado a un concepto racional de las relaciones del hombre con el universo. Tanto si erraron

como si no en sus conclusiones prematuras, estos esfuerzos en pos de designios que señalaban las preocupaciones de la vida diaria justifican su pretensión de ser reconocidos como «filósofos naturales». Esta expresión sobrevivió hasta el comienzo del siglo XIX, cuando Geoffroy Saint-Hilaire tituló su gran trabajo sobre las analogías de los seres vivos *Philosophie anatomique*. Aun el propio Faraday, en vísperas de la profunda revolución industrial que iba a resultar de sus descubrimientos eléctricos y químicos, prefirió ser llamado «filósofo», mejor que «científico». Fue tal vez una protesta silenciosa contra la intromisión de la sociedad en las actividades de los filósofos naturales el hecho de que, mientras estaba todavía en plena producción científica, se retirara de todas las conexiones industriales y hasta como consultor dentro del santuario de la Royal Institution.

La integración de la ciencia y de la economía social, a pesar de todo, tuvo varios comentadores aislados antes de la época de Pasteur. Francis Bacon había descrito, en *The New Atlantis*, una sociedad de eruditos organizada para la adquisición de un conocimiento que permitiría al hombre obtener el dominio sobre la naturaleza. «La finalidad de nuestra fundación —escribió— es el conocimiento de las causas y motivos secretos de las cosas; y la ampliación de los límites del imperio humano hacia la realización de todas las cosas posibles.» En 1666, Colbert, prototipo de la eficiencia a la americana, que dirigió los negocios de Francia bajo Luis XIV, había creado la Academia de Ciencias Francesa, dotándola de fondos para el subsidio de los académicos y para sus instrumentos y experimentos. Ya en 1671 organizó un proyecto cooperativo para la exploración del reino y de sus dependencias. Así, bajo el Más Cristiano Monarca, Rey de Francia por Derecho Divino, nació una tradición que los dirigentes de la Rusia comunista seguirían sistemáticamente doscientos cincuenta años más tarde. En Inglaterra, la Royal Society y la Royal Institution se fundaron para el cultivo de «aquel conocimiento que tenga tendencia a ser usado» y «para hacer la ciencia útil así como atractiva». Cuando, en 1751, los enciclopedistas franceses, bajo la dirección de Diderot y D'Alembert, emprendieron la publicación de un diccionario universal de artes, ciencias, industrias y manufacturas, dedicaron mucha atención a los procesos técnicos tal como se realizaban en los talleres. Se preguntaban ellos: «¿No deberíamos tener en igual estima a los inventores del resorte, la cadena, o las partes de repetición de un reloj, que aquellos que estudiaron con éxito el perfeccionamiento del álgebra?» La Academia de Ciencias de París prosiguió este sendero y publicó, entre 1761 y 1781, veinte volúmenes sobre la descripción ilustrada de las artes y los oficios. La actividad de los científicos comenzó entonces en todas partes a abarcar las aplicaciones prácticas junto con las disquisiciones filosóficas.

Un ejemplo de esto lo constituye el estudio de la fuerza mecánica. La máquina primitiva de vapor fue inventada por Newcomen en 1705, y había sido notablemente mejorada por James Watt en 1765. A medida que el uso de la máquina de Watt se extendía, la necesidad de evaluar el rendimiento de energía por unidad de combustible consumido, como

una de las bases para mejorar la eficiencia de la máquina, condujo al joven físico francés Sadi Carnot a la investigación de la relación teórica entre calor y trabajo. El estudio de esta relación continuó ocupando la mente de los físicos. Joule, Meyer, Kelvin y Helmholtz finalmente suministraron la información teórica, a partir de la cual aprendió el mundo moderno a utilizar la fuerza del vapor para el transporte y la industria. Ferrocarriles, barcos a vapor, instalaciones para producir energía surgieron pronto de los cálculos y experimentos de estos científicos.

El paso de la electricidad desde el gabinete del filósofo natural al taller y la casa fue todavía un milagro mayor para el hombre del siglo XIX. En 1819, Oersted, de Copenhague, descubrió que una corriente eléctrica desviaba una brújula situada en las proximidades y poco tiempo después fue desarrollada por Ampère la teoría de la interacción entre las corrientes y el imán. Señaló asimismo que la desviación del imán por las corrientes eléctricas podía ser usada para la transmisión telegráfica. No pasó mucho tiempo hasta que Morse y Wheatstone hicieron una realidad práctica del telégrafo eléctrico. En 1823, Faraday mostró cómo un hilo que transportaba una corriente eléctrica podía desplazarse dentro de un campo magnético. El electroimán y el conmutador fueron cimentados por Sturgeon en los años inmediatos y, hacia 1830, los trabajos de Joseph Henry en Estados Unidos y de Michael Faraday en Inglaterra condujeron al descubrimiento de la inducción electromagnética. De esta forma se completó el arsenal científico que hizo posible la dinamo y otras máquinas electromagnéticas.

Aunque las conquistas prácticas de la ciencia durante el principio del siglo XIX fueron más espectaculares en la producción y en la distribución de la energía, otros empeños científicos también ayudaron a transformar la vida diaria. Por ejemplo, cuando Daguerre y Niepce inventaron la fotografía en 1835, los daguerrotipos pasaron a ser de un día para otro una novedad popular, y frecuentemente alcanzaron tan alto nivel y perfección técnica como para darles un gran interés documental y artístico. Parecía entonces como si la fotografía viniera a ser para el registro de la forma exterior de la naturaleza lo que la imprenta fue para el registro del pensamiento.

La química estaba abandonando el rincón romántico en donde el alquimista había perseguido el sueño del oro y el del elixir de la vida. Lavoisier, que inició la época moderna de la química teórica, comenzó su vida científica colaborando en la preparación de un atlas de los recursos mineralógicos de Francia. Elegido miembro de la Real Academia a los veinticinco años de edad, preparó informes sobre una gran variedad de problemas técnicos. Esto le familiarizó con las operaciones de la mayoría de las industrias nacionales: minas, industrias del hierro y del blanqueo, fábricas de almidón y jabón, y otras. Mejoró la manufactura del salitre y la pólvora. Fue, en parte, su trabajo sobre el abastecimiento de agua de París y su interés en las aguas minerales lo que le llevó a investigar la química del agua, y sus estudios clásicos sobre la composición del aire se originaron a partir de sus esfuerzos para proyectar los faroles para el alumbrado de París.

Durante el siglo XVIII y comienzos del XIX, Francia dirigía a Europa en química teórica e industrial, y su autosuficiencia durante las guerras revolucionarias y las napoleónicas fue en gran parte el resultado de su superioridad científica.

El lugar de la química en la economía del resto del mundo continuó extendiéndose aún después de las guerras napoleónicas. Desastre tal como la explosión minera de 1812 cerca de Gateshead-on-Tyne condujo a Humphry Davy al estudio de las características del grisú, y a demostrar que la explosión no pasaba a través de una malla metálica fina. En 1816 ideó la lámpara de seguridad —lámpara protegida por una malla metálica—, con lo cual disminuyeron los peligros de las minas de carbón, contribuyendo así a la supremacía industrial de Inglaterra. La síntesis de la urea por Wöhler, en 1828, abrió el camino para la síntesis de los medicamentos y los colorantes. Incluso la tecnología de la alimentación resultó influida por el nuevo conocimiento. Marggraf aplicó la química a la producción del azúcar a partir de la remolacha; el polaroscopio permitió la medida directa de la concentración de azúcar en extractos no purificados de la raíz; y pronto los cultivos de remolacha azucarera cubrieron vastas áreas del norte de Europa.

Justus von Liebig organizó en Giessen el primer y más famoso laboratorio de bioquímica. Estimulado por el deseo de corregir la pobreza de la tierra que le rodeaba, emprendió estudios que aclararon los principios de la fertilidad del suelo y condujeron al empleo racional de los fertilizantes. La agricultura científica había comenzado. Liebig hizo más que ningún otro para que el mundo adquiriera conciencia del hecho de que hasta los procesos de la vida podían ser algún día dóciles al control químico.

Ya para el comienzo del siglo XIX, el conocimiento científico dejó de ser la rara diversión de unos pocos filosófos y mentes curiosas. Así como los avances técnicos del siglo XVIII —en hilados, en la metalurgia del hierro y del acero, en fuerza motriz— habían sido invenciones hechas por hombres prácticos, y no estaban basados en los descubrimientos de científicos experimentales, en los sucesivo iba a cambiar esta relación. Cada vez más frecuentemente, durante el siglo XIX, la investigación en el laboratorio iba a preceder a las aplicaciones industriales. El conocimiento científico se estaba transformando en una fuente de bienestar.

La ciencia se había vuelto esencial también para la seguridad del Estado. Bien es verdad que el Comité de Salud Pública había enviado en 1794 a Lavoisier a la guillotina, con la declaración de que «la República no necesita de los químicos», pero pronto los dirigentes responsables de conducir la Revolución Francesa descubrieron la necesidad de tales científicos en tiempo de emergencia. Escribe Maury en su historia de la Academia Francesa de Ciencias: «Se necesitaba de todo para la defensa del país: pólvora, cañones, provisiones. Los arsenales estaban vacíos, ya no se importaba del extranjero el acero; el salitre ya no llegaba de la India. Eran precisamente aquellos hombres cuyas actividades habían sido proscritas los que podían dar a Francia lo que ella necesi-

taba. Sobre la base de investigaciones comenzadas por Lavoisier, Fourcroy enseñó los métodos de extraer y refinar el salitre, Guyton de Morveau y Berthollet dieron a conocer un nuevo método para manufacturar la pólvora y estudiaron la producción del hierro y del acero; Monge explicó el arte de fundir y perforar cañones de bronce para uso en tierra, y la fundición de los cañones marinos.»

En el espacio de unos pocos años, la ciencia se había erigido como una necesidad para la sociedad. El aforismo de Bacon era cierto: el conocimiento es poder.

Así se engendró la tradición de movilizar científicos para perfeccionar los instrumentos de guerra; la importancia del aspecto militar de la ciencia ha ido creciendo en magnitud desde entonces con cada nuevo conflicto. Durante la guerra de Secesión en los Estados Unidos de América, Joseph Henry fue nombrado consultor-jefe del gobierno en invenciones militares científicas, publicando varios centenares de informes, basados en muchos experimentos. De esta actividad surgió la National Academy of Sciences. Tal fue también el antecesor del National Research Council y de la Office of Scientific Research and Development, organizadas en los Estados Unidos de América durante la primera y segunda guerras mundiales, respectivamente. En los otros países beligerantes se crearon asociaciones similares de hombres de ciencia, no sólo para proyectar armas ofensivas y defensivas sino también para adaptar la economía nacional a la escasez de alimentos y otros abastecimientos.

El bloqueo inglés durante las guerras napoleónicas estimuló grandemente el desarrollo de la química práctica en Francia. Para fomentar la búsqueda de productos domésticos con que reemplazar los materiales coloniales y extranjeros se ofrecieron toda clase de estímulos a los investigadores, se establecieron escuelas técnicas y colegios, se promovieron las exposiciones. Debido a que Francia se veía desprovista de su suministro habitual de sosa, la Academia de Ciencias de París ofreció un premio que estimuló el descubrimiento por Leblanc de un método para hacer carbonato de sosa a partir de la sal. Esto a su vez condujo, algo más tarde, al enorme desarrollo de la industria del ácido sulfúrico de Inglaterra y del continente.

De la misma forma en que la falta de la caña de azúcar había fomentado el cultivo de la remolacha azucarera en las planicies del Norte de Francia, así también, como respuesta a una necesidad del Estado, estimulado por un premio ofrecido por Napoleón, Appert inventó un método para la conservación de los alimentos perecederos. Pocas décadas más tarde, este método fue mejorado por la casa escocesa Donkin, Hall & Gamble, quienes vendieron alimentos en conserva y carne a la Marina inglesa, a la East India Company y a los gobiernos francés e inglés durante la guerra de Crimea.

A medida que los hombres de ciencia fueron ocupando puestos más importantes en los asuntos del Estado, el interés sobre cuestiones científicas se extendió a áreas más amplias de la población.

Por supuesto que el interés por la ciencia por parte de algunos profanos no era enteramente nuevo: los salones de moda habían aceptado

desde tiempo atrás las discusiones científicas como un tópico interesante de su comercio intelectual, a menudo tan artificioso. En los términos más elegantes, Fontenelle había escrito en 1686 sus *Entretiens sur la pluralité des mondes,* para refinadas y empolvadas marquesas; pero, aunque sus escritos eran exactos y hábiles, la literatura predominaba sobre el interés científico en su discusión astronómica. Buffon y Voltaire habían dado a la ciencia un matiz más filosófico, y los enciclopedistas escribieron de modo informativo sobre la ciencia para educar al público. Pero con la Revolución vinieron los aspectos descriptivo, utilitario y económico de la ciencia, desplazando bien pronto a todos los demás. Es interesante reconocer, en las actas de las academias científicas de aquel tiempo, algunos de los nombres más notorios de la Francia revolucionaria. Marat disertó en Ruán y en Lyon sobre electricidad y óptica; Danton y Bonaparte compitieron en el *Prix Raynal* de Lyon, y el nombre de Robespierre está en conexión con la Academia de Arrás.

Napoleón I sintió un gran interés por la ciencia teórica. Discutió problemas de mecánica celeste con Laplace, y llevó consigo un gran número de científicos en la campaña egipcia. En 1807 organizó una sesión especial de la corte para la presentación de un informe sobre el progreso de las ciencias. Después del descubrimiento de la corriente eléctrica, invitó a Volta a que demostrara en París el funcionamiento de su batería, donde despertó un enorme interés. Instituyó una medalla con un premio de tres mil francos para el mejor experimento sobre «el fluido galvánico», y, a pesar del hecho de que Francia e Inglaterra estaban entonces en guerra, la medalla fue concedida a Humphry Davy en 1807. De nuevo en el curso de la guerra, en 1813, Napoleón concedió a Davy permiso para visitar los volcanes de la Auvernia, y el grupo inglés fue obsequiado y honrado por los químicos franceses y la corte, a pesar de la rudeza y arrogancia de Davy. Este viaje, puede decirse de pasada, tuvo considerable importancia para la historia de la química, ya que en aquella ocasión Faraday comenzó su aprendizaje con Davy, y el último recibió de las conversaciones con Ampère la información que le condujo al descubrimiento del yodo.

La bienvenida ofrecida por Francia a Humphry Davy en el fragor de la guerra con Inglaterra fue una manifestación sorprendente del respeto por la cultura, más allá de las rivalidades nacionales, durante el comienzo del siglo XIX. Refleja también el hechizo del químico inglés, que había alcanzado fama no sólo por sus descubrimientos espectaculares —la electrólisis del agua, la preparación del sodio y del potasio, la química del óxido nitroso y los efectos anestésicos de este gas—, sino también por su genio como un exponente de la ciencia. En 1802, Davy fue nombrado profesor de química en la Royal Institution. Había sido fundada ésta en 1799 con el objeto de «difundir el conocimiento y facilitar la introducción general y rápida de las invenciones y adelantos mecánicos nuevos y útiles; y también para la enseñanza, mediante cursos regulares de clases filosóficas y experimentos, de la aplicación de estos nuevos descubrimientos en la ciencia hacia el mejoramiento de artes y manufacturas». Aun cuando Davy ponía mucho cuidado en sus clases

y demostraciones, las redactaba con pocas horas de anticipación, dándoles así mayor frescura. Su rapidez de comprensión y ejecución aparecía al público como intuición pura y en acuerdo con la idea popular del genio. El éxito de sus clases aumentó año tras año, y pronto le colocó en el medio elegante de Londres. Su auditorio en el teatro de la Royal Institution se aproximaba al millar, e incluía a muchas celebridades del tiempo, entre ellas Coleridge, quien asistía regularmente con la esperanza de aumentar su reserva de metáforas literarias.

Cuando se pidió a Davy que diera clases sobre química y biología en Dublín en 1810, los locales que se habían acondicionado para contener quinientas cincuenta personas resultaron demasiado pequeños para un auditorio entusiasta. El costo de admisión era de dos guineas, pero, cuando las entradas se agotaban, se llegaban a ofrecer diez y hasta veinte por parte de los más interesados en escuchar.

Las clases de Faraday en la Royal Institution tuvieron no menos éxito que las de su renombrado predecesor. A pesar de su desdén por la vida social, Faraday se daba perfecta cuenta de la significación de la ciencia para el público de aquella época, y preparaba por escrito un análisis cuidadoso del arte de disertar. Cuando en 1861 dio una serie de clases sobre «la historia química de la bujía», una gran cantidad de niños de escuela renunció momentáneamente a sus vacaciones de Navidad para escucharlo.

John Tyndall siguió a Faraday en la Royal Institution y continuó la gran tradición de conferencias científicas populares. En la publicación de sus *Fragments of Science*, cubrió todos los campos de la investigación, desde la teoría del color hasta el origen de la tuberculosis. Tan grande era su fama, que las conferencias sobre luz que dio en los Estados Unidos durante el invierno de 1872-1873 le hicieron ganar trece mil dólares; ni el riguroso invierno de la costa del Atlántico pudo desalentar a sus numerosos auditorios de Boston, Nueva York y Filadelfia.

A lo largo de la civilización occidental, en el siglo XIX, los hombres de ciencia establecieron contacto con un público amplio y sensible mediante conferencias, libros y folletos. El interés en los escritos de Von Humboldt sobre cosmografía constituyó un impulso para las exploraciones científicas. Liebig publicó sus famosas *Cartas familiares* sobre química; Helmholtz atrajo una concurrencia internacional, de más allá de las ciudades universitarias alemanas donde explicara sus brillantes puntos de vista sobre la unión de la física, de la fisiología, psicología y estética.

Sería innecesario decir que los problemas biológicos también aparecieron en gran número entre las preocupaciones intelectuales de aquellos días. Durante la primera parte del siglo, el anatomista y paleontólogo Cuvier vino a ser la voz elocuente de la ciencia francesa oficial. El 15 de febrero de 1830, su amigo y oponente científico Saint-Hilaire expuso ante la Real Academia de Ciencias de París la doctrina de la unidad de la composición orgánica, la cual, debido a que implicaba cierto grado de transformación a partir de un antepasado animal universal, estaba en conflicto con la creencia de Cuvier en la fijeza de las especies.

De esta forma se inició un debate que duró varios meses y que atrajo enorme atención. Cuando cualquiera de los dos contrincantes iba a hablar, los asientos de la sala se encontraban repletos y la severa calma académica se sustituía por una excitación tensa y ansiosa.

Treinta años más tarde, la publicación del *Origin of Species* de Darwin iba a abrir otro debate que se extendió aún más ampliamente a través de la conciencia occidental. En 1860, en Oxford, se reunieron más de un millar de personas en la sesión histórica durante la cual Huxley convenció a su auditorio, a expensas del obispo Wilberforce, de que las teorías de la ciencia deben ser juzgadas con base en el hecho y la razón, y no con la autoridad del dogma. De esta forma la teoría de la evolución vino a formar parte de la filosofía social; la nueva fe científica, el darwinismo, desgarró a Europa en dos pedazos, de la misma forma que lo había hecho la Reforma dos siglos antes.

La primera edición de 1.250 ejemplares del *Origin of Species* se vendió totalmente el día de su publicación (24 de noviembre de 1859). La segunda edición, de 3.000 ejemplares, fue también arrebatada cuando apareció seis semanas después. De igual forma se vendieron en el espacio de tres años 8.500 ejemplares de la *Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms*, también de Darwin. Estas cifras tienen extraordinaria significación si se piensa que ninguno de estos dos libros había sido escrito para el público en general y que una novela popular de aquel tiempo alcanzaba un máximo de venta de 30.000 a 40.000 ejemplares. Con el fin de publicar sus *First Principles*, Spencer editó un prospecto describiendo la obra y solicitando suscriptores, y haciendo arreglos para su publicación en forma periódica, del mismo modo en que Dickens y Thackeray habían publicado sus escritos. Con su artículo *Problème de la physiologie générale*, Claude Bernard llevó el espíritu de la fisiología moderna a los lectores profanos de la *Revue des Deux Mondes*, y cuando, en 1865, publicó su *Introduction à l'étude de la médicine expérimentale*, un gran público compartió con los hombres de ciencia profesionales una íntima comprensión del método experimental.

También los aspectos técnicos puros de la ciencia del siglo XIX suscitaron el interés entre los profanos. Así, en 1819, Chateaubriand encontró que valía la pena mencionar el invento del estetoscopio por Laënnec, y predijo gran porvenir para el instrumento en el estudio de las enfermedades cardíacas y respiratorias. La primera exhibición internacional de aparatos científicos fue organizada en Londres en 1876. En un solo día, 11.969 personas visitaron la exposición, a la que *The Times* dedicó varias columnas. Bajo la sugerencia de James Clerk Maxwell, la propia reina Victoria consideró apropiado mostrar gran interés en la exhibición y escuchar con digna atención la descripción de la bomba de aire y de los hemisferios de Magdeburgo.

Pasteur, como veremos, iba a quedar envuelto también en muchos debates públicos y en la demostración de problemas técnicos ante profanos y artesanos. Cuando, en 1861, dio en la Sorbona su famosa clase sobre la generación espontánea, se podía reconocer entre el auditorio a Victor Duruy, Alexandre Dumas padre, George Sand y la princesa Ma-

tilde. Pocos años más tarde, una granja de Pouilly-le-Fort vino a convertirse en un centro de interés internacional cuando periodistas y hombres de ciencia, así como simples granjeros, se reunieron allí para atestiguar la demostración de que el cordero podía ser inmunizado contra el ántrax.

La ciencia médica consiguió titulares de periódico.

A medida que se leen los relatos de estas grandes demostraciones científicas —la magnitud de los problemas que suscitaron, la gran categoría intelectual de los científicos, sus principales actores, el brillo y la sensibilidad del auditorio— se retorna con cierto sentido de frustración a la triste escena en que la ciencia y el público se ponen en contacto en el mundo actual. Sin embargo, el protagonista del drama permanece, a pesar de todo, siendo estimulante. La ciencia es todavía el héroe versátil y proteico de la comedia que crea nuevas e infinitas situaciones, abriendo vistas románticas y desafiando conceptos ya aceptados. Pero los grandes actores ya dejaron de representar para el público, y el auditorio ha perdido su atractivo. Pasaron los días en que hombres tales como Davy, Faraday, Tyndall, Huxley, Helmholtz, Cuvier, Saint-Hilaire, Arago, Bernard y Pasteur introducían —en términos sencillos y elegantes, pero exactos— los verdaderos conceptos y las hazañas científicas y el proceso mental de los hombres de ciencia para auditorios sensibles de niños y adultos, artesanos y artistas, académicos celosos y damas del gran mundo. El espectáculo de la ciencia está aún sin revelar; pero ahora, escondido detrás del telón, carece de auditorio y es únicamente comprensible para los actores. En la puerta del escenario, unos cuantos charlatanes mal informados y habladores venden al público malas imitaciones de los grandes ritos. Al mundo se le prometen milagros baratos, pero ya no tiene participación en los misterios gloriosos.

Como una muestra del respeto por la ciencia, el siglo XIX otorgó a muchos hombres de ciencia honores y privilegios tan grandes como los que hoy en día se conceden a soldados, políticos y hombres de negocios. Durante la enfermedad de Davy en 1807 se publicaron boletines informando del estado de su salud, semejantes a los editados para la realeza; eminentes especialistas médicos rehusaron aceptar honorarios por sus servicios. Su convalecencia estimuló suscripciones públicas que alcanzaron suficientes fondos para la construcción de una gran batería voltaica que se usó en apoyo de su trabajo. A pesar del conflicto inicial entre la doctrina de la evolución y el dogma cristiano, Darwin, cargado con premios y honores durante su vida, fue enterrado con grandes ceremonias religiosas en la abadía de Westminster. En Francia, Cuvier permaneció como uno de los personajes del Estado, bajo Napoleón I, Luis XVIII y Carlos X. El químico Jean Baptiste Dumas y el fisiólogo Paul Bert pasaron de sus cátedras de la Sorbona a los más altos puestos de gobierno durante el Segundo Imperio y la Tercera República. Claude Bernard, pese a su alejamiento olímpico de la medicina práctica, fue nombrado senador sin que él lo pidiera; sus exequias, al igual que las de Darwin, constituyeron un suceso nacional al que asistieron los más altos dignatarios del Estado. Napoleón obsequió a los hombres de

ciencia más famosos en la corte y en Rambouillet. Allí, Pasteur, aun antes de realizar los estudios sobre la teoría de la enfermedad, había hecho de su nombre un objeto de veneración, y fue invitado a demostrar con su microscopio el fecundo «universo de lo infinitamente pequeño» ante el emperador y su corte de miriñaque.

Durante los días en que un ataque de hemiplejía amenazó la vida de Pasteur en 1868, el emperador envió diariamente un correo personal a la casa del enfermo. El propio Pasteur señala con orgullo obvio que, en el Congreso Internacional de Fisiología de Copenhague en 1884, la reina de Dinamarca y la reina de Grecia, rompiendo con la etiqueta social, caminaron hacia él para saludarle. En 1892, Francia, nuevamente una República, delegó a su presidente para que asistiese al jubileo de Pasteur, que tuvo lugar en la Sorbona y que se vio concurrido por representantes de todo el mundo. En 1895, las exequias nacionales del gran hombre de ciencia se celebraron con una pompa sólo igualada por las de Victor Hugo, héroe de la Francia literaria.

El espectáculo de los descubrimientos que así revolucionaban la vida durante aquellos excitantes años, y la esperanza de que el hombre pudiera completar pronto su dominio sobre la naturaleza, creó en el mundo occidental una atmósfera de fe en la ciencia y un entusiasmo que iban a encontrar una expresión algo inocente en muchos libros.

En 1899, A. R. Wallace —quien propuso simultáneamente con Darwin la teoría de la evolución— publicó bajo el título *The Wonderful Century* una relación entusiasta de las hazañas de su época. Asignaba al siglo XIX veinticuatro avances fundamentales, contra solamente quince para todo el resto de la historia registrable. Muchas de las grandes invenciones y teorías científicas señaladas por Wallace solamente maduraron durante la segunda mitad del siglo; pero ya la ciencia iba influyendo hábitos, pensamiento y lenguaje.

En la abrigada atmósfera del Colegio de Besançon y de la Escuela Normal pudo muy bien Pasteur no sentir el impacto completo de las fuerzas sociales urgiendo a cada estudiante a dedicar su talento, conocimientos y energías a la solución de problemas prácticos. Pero cuando ascendió a profesor de Química y a decano de la recientemente creada Facultad de Ciencias de Lille, en 1854, el golpe le llegó a través de los conductos oficiales. El decreto de organización de las nuevas facultades de Ciencias en toda Francia era muy explícito; su papel consistía en estimular la aplicación de la ciencia a las industrias locales. En una carta escrita en el curso de marzo de 1855, el ministro de Educación Pública comentó su reconocimiento por el éxito de Pasteur en sus nuevas funciones, con la siguiente advertencia: «Dejemos que el señor Pasteur sea cuidadoso, pero que no se deje guiar exclusivamente por su amor a la ciencia. No debe perder de vista el hecho de producir resultados útiles y el de extender su influencia favorable mediante la enseñanza en las facultades; a la vez que permanecer en el más alto nivel de teoría científica, deberá adaptarse, mediante la mayor aplicación posible, a las necesidades prácticas del país.» Fortoul, ministro de Educación Pública en el gobierno de Napoleón III, se habría sorprendido y alterado mucho si

hubiese reconocido, en su recomendación a Pasteur, el eco de otra expresión hecha casi simultáneamente por Karl Marx: «Hasta aquí, los filósofos han tratado de entender el mundo; de ahora en adelante deben tratar de cambiarlo.»

En sus cartas desde París y Estrasburgo a su amigo Chappuis, Pasteur hablaba de cristales como un amante de la ciencia pura, sin referirse jamás al posible papel de su labor para modificar la vida del hombre. En respuesta a sus nuevas responsabilidades en Lille, se hizo bien pronto íntimamente consciente de más amplias obligaciones sociales, insistiendo en sus clases acerca del papel de la ciencia en la vida práctica del ciudadano y de la nación. Decía:

«¿Dónde encontrarán ustedes un joven cuya curiosidad e interés no se despierte inmediatamente al poner en sus manos una patata, cuando con aquella patata produce azúcar, con aquel azúcar alcohol, con aquel alcohol éter y vinagre? ¿Quién no se sentirá feliz al comunicar a su familia que está desarrollando un telégrafo eléctrico...?

»¿Saben ustedes cuándo vio por primera vez la luz este telégrafo eléctrico, una de las aplicaciones más maravillosas de la ciencia moderna? Fue en el año memorable de 1822: Oersted, un físico danés, sostuvo en sus manos un pedazo de alambre de cobre, y unió sus extremos a los dos polos de una pila de Volta. Sobre su mesa se encontraba una aguja magnética descansando en su eje, y de pronto vio por azar —dirían ustedes, pero el azar sólo favorece a la mente preparada...— que la aguja se movía y tomaba una posición enteramente diferente de la asignada por el magnetismo terrestre. Un alambre llevando una corriente eléctrica desvía de su posición a la aguja magnética. Eso, caballeros, era el nacimiento del telégrafo moderno...»

Advertía que no hay dos formas de ciencia —pura y aplicada—, sino solamente ciencia y la aplicación de la misma. «Sin teoría, la práctica no es sino rutina nacida del hábito. Sólo la teoría puede traer el adelanto y el desarrollo del espíritu de invención.» Posteriormente, las aplicaciones de la ciencia aparecerían bastante en sus actividades; ya había probado la atmósfera intoxicante que la sociedad suministra a aquellos que se cambiaron del gabinete del filósofo al inquieto local del mercado de valores. Su vida, a partir de entonces, se dividió entre la paz serena del laboratorio y la excitación agobiante que rodea la aplicación de la ciencia a los problemas prácticos.

No era sólo Pasteur el que dedicaba su genio al servicio del intento de la sociedad de dominar el mundo físico. Por ejemplo, William Thomson había comenzado a preocuparse por problemas científicos abstractos, pero pronto se sintió impelido a facilitar los deseos de su tiempo. Primeramente, se distinguió en física teórica y en matemáticas; más tarde, dedicó gustoso cada vez más energías a producir bienestar. Fue el primero en organizar un laboratorio adaptado especialmente a la investigación industrial. Unas décadas después, Edison abandonó toda pretensión de interés por problemas teóricos válidos en sí mismos, seleccionando su problema de investigación sobre la base de las demandas de los mercados industriales que le rodeaban.

Así, en unas pocas generaciones, los científicos habían evolucionado desde el filósofo natural al tecnólogo. ¿Fueron más grandes Michael Faraday y Claude Bernard, hombres que rehusaron quedar envueltos en las aplicaciones prácticas de sus ciencias, por obedecer el impulso espiritual de proseguir su inspiración teórica hasta el fin, y por dejar a mentes más reducidas la conversión de sus descubrimientos en comodidades sociales? Es demasiado pronto para juzgar. La historia de la ciencia experimental es demasiado breve para permitir una perspectiva adecuada de su verdadera relación con el bienestar humano y con el entendimiento del universo.

Pero cualquiera que sea el juicio final de la historia, Wallace tuvo razón: el siglo XIX fue un siglo maravilloso. Sus hombres de ciencia fueron ejecutores maestros del método experimental, y al mismo tiempo supieron cómo integrar sus esfuerzos con la herencia de las edades clásicas. Fieles a la tradición de la Ilustración, nunca olvidaron, mientras resolvían los problemas tecnológicos de la civilización industrial, que la ciencia es filosofía natural. En sus manos, la ciencia no sólo fue un servidor de la sociedad, un instrumento para el control del mundo físico, sino también un adorno de nuestra cultura occidental.

2. La leyenda de Pasteur

«Aprendí esto, cuando menos, con mi experimento: si uno avanza confiado en la dirección de sus sueños, e intenta vivir la vida que ha imaginado, se encontrará con un éxito inesperado en las horas ordinarias. En la medida en que simplifique su vida, las leyes del universo se le aparecerán menos complejas, y la soledad no le parecerá soledad, ni la pobreza pobreza, ni la debilidad debilidad.»—HENRY D. THOREAU

Pocas vidas han sido registradas más completamente que la de Louis Pasteur. Su hijo político, René Vallery-Radot, ha ofrecido en la *Vie de Pasteur* una relación cronológica de los orígenes del maestro, vida familiar, ocupaciones, luchas, pruebas y triunfos. Su nieto, el profesor Pasteur Vallery-Radot, ha coleccionado y publicado reverentemente sus escritos científicos y de otra naturaleza, así como su correspondencia. Los retratos pintados por el joven Louis en su ciudad natal de Arbois y en la escuela de Besançon se localizan fácilmente en colecciones privadas y en forma de diferentes reproducciones. Emile Duclaux, uno de los alumnos y colaboradores de Pasteur, y su íntimo asociado al final, ha descrito y analizado en *Pasteur: l'Histoire d'un Esprit* la evolución de la mente científica del maestro y sus descubrimientos. La morada en que nació Pasteur, las casas en las cuales vivió, se afanó y murió, se han mantenido cuidadosamente en su condición primitiva, como santuarios nacionales, ayudándonos a recuperar la atmósfera en la que el hijo de un modesto curtidor pasó de una tranquila provincia francesa a erigirse como un héroe legendario del mundo moderno. Numerosas fotografías, estatuas, pinturas y medallas revelan su evolución, desde el joven escolar pensativo, a través del severo profesor y ansioso experimentador en el comienzo de la edad adulta, el apasionado luchador y apóstol en la madurez, hasta el cansado guerrero soñando en su vejez.

Debido a que Pasteur tocó tantos problemas e influyó en tantas vidas durante su tempestuosa carrera, se reflejan los diferentes aspectos de su personalidad —como en un espejo polifacético— en la reacción a su actuación como hombre en todos los niveles de la sociedad y en todos los senderos de la vida. Hay muchos testimonios de la admiración de sus colegas por sus descubrimientos científicos, pero también de la impaciencia derivada de su actitud intolerante e imperiosa cuando él sabía —o creía— que la verdad estaba de su lado. Otros filósofos y científicos compartieron su fe de que las ciencias exactas constituyen —apar-

Casa natal de Pasteur, en Dôle.

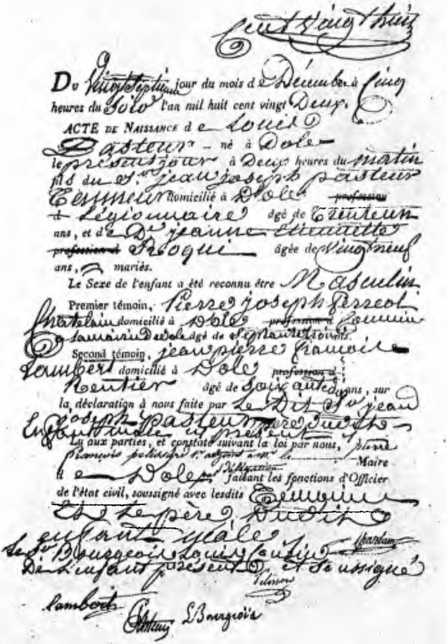
te de la religión revelada— el único camino abierto al hombre hacia la sabiduría y el poder; pero hubo también algunos que se mofaron ante esa ingenua filosofía, seguros como estaban de que la naturaleza y la verdad no podían conquistarse con medios tan primitivos. Seres humanos incontables le han adorado como al salvador de sus hijos o de sus humildes negocios; pero también tuvo que enfrentarse a la oposición de

quienes pusieron en duda el valor práctico de sus descubrimientos, algunas veces basándose en una crítica sana y documentada y en otras ocasiones porque el hombre es ciego y sordo a lo nuevo, o se resiste a cualquier cambio introducido en el método antiguo de las cosas.

Pronto, sin embargo, la adoración triunfó sobre la crítica; la leyenda situó a Pasteur en la historia. Francia lo consideró como el símbolo de su genio para la lógica y de sus impulsos románticos. Su nombre sale ahora a relucir asociando poéticamente en los corazones franceses las pequeñas ciudades de Dôle y Arbois, donde nació y creció, a lo largo de los ríos risueños llamados el Doubs y el Cuisance; París, sus grandes escuelas, la atmósfera de meditación escolar y de febril participación en los asuntos mundanos; un venerado anciano extenuado por años de afanes sin fin dedicados al servicio de la humanidad, recordando, bajo los enormes árboles del parque de Saint-Cloud, los sueños de un estudiante idealista quien —cincuenta años antes— había planeado consagrarse a la solución de algunos de los eternos problemas de la vida. A través de medio siglo, su voz todavía resuena con este mensaje de una edad romántica: «Los griegos nos han dado una de las palabras más bellas de nuestro lenguaje, la palabra "entusiasmo" (un dios dentro). La grandeza de los actos de los hombres se mide por la inspiración de quienes brota. ¡Feliz aquel que lleva un dios dentro de sí!»

No sólo ha sido en Francia donde Pasteur se ha erigido como un héroe legendario. Institutos científicos, anchas avenidas, y hasta provincias y ciudades de todo el mundo, llevan su nombre. Desde altos monumentos y pedestales inspecciona la entrada de los estudiantes a los claustros del saber y vigila a los niños jugando en las plazas públicas. Aun durante su vida, la «pasteurización» fue una palabra doméstica que daba a entender alimentos y bebidas sanos. Si hubiera vivido Pasteur en el siglo XIII, su figura adornaría las ventanas de vidrios de colores de nuestras catedrales; le conoceríamos con la vestidura de un abad —fundador de alguna nueva orden religiosa— o con la armadura de un caballero cruzado luchando por una guerra sagrada, ya que, tanto más que hombre de ciencia, fue el sacerdote de una idea, un apóstol y un cruzado. Es al campeón de una causa, más que al coloso intelectual, al que recuerda la humanidad bajo su nombre, y a quien un escritor anónimo evoca en el *Spectator* de Londres de 1910, en las siguientes líneas:

«Hay más de sesenta Institutos Pasteur: pero yo estoy pensando en el Instituto de París. Al final de uno de sus largos corredores, tras bajar unos pocos escalones, se encuentra la pequeña capilla donde yace Pasteur... Del aspecto del lugar, hecho conforme al espíritu del maestro y en su honor, uno va derecho a él. Donde trabajó, allí descansa... Paredes, pavimento, techo de baja arquería; esta pequeña capilla, cada centímetro de ella, es hermosa: para ver una igual tiene uno que visitar Roma o Ravena. Sobre sus paredes de raros mármoles están inscritos los nombres de sus grandes descubrimientos — *Dissymétrie moléculaire. Fermentations... Générations dites spontanées... Etudes sur le vin... Maladies des vers à soie... Etudes sur la bière... Maladies virulentes... Virus vaccins... Prophylaxie de la rage...* En los mosaicos, de oro y de


Cent vingt trois

Du vingt septième jour du mois de Décembre à cinq heures du soir l'an mil huit cent vingt deux.

ACTE DE NAISSANCE de Louis Pasteur né à Dole le présent jour à deux heures du matin fils du Sr Jean Joseph Pasteur tanneur domicilié à Dole profession et légionnaire âgé de trente un ans, et de Dlle Jeanne Etiennette profession et Roqui âgée de vingt neuf ans, mariés.

Le Sexe de l'enfant a été reconnu être masculin.

Premier témoin, Pierre Joseph Ferreol Chatelain domicilié à Dole profession de commissaire de Dole âgé de soixante trois ans.

Second témoin, Jean Pierre François Lambert domicilié à Dole profession de rentier âgé de soixante deux ans, sur la déclaration à nous faite par le dit Sr Jean Joseph Pasteur père du dit enfant [illegible]

Lu aux parties, et constaté suivant la loi par nous, Pierre François Pelissard 1er adjoint [illegible] Maire de Dole faisant les fonctions d'Officier de l'état civil, soussigné avec lesdits comparant le père du dit enfant [illegible] le Sr Bourgeois Louis cousin du dit enfant présent, et a signé [illegible]

Lambert Chatelain L Bourgeois

Partida de nacimiento de Pasteur.

Retratos de Jean Joseph Pasteur y su esposa, padres de Louis, pintados por éste cuando contaba quince años de edad. Ambos proporcionaron al científico una infancia humilde, pero feliz.

colores, uno las lee de nuevo. En el diseño entrelazado de hojas de lúpulo, vid y zarzamora, y en el dibujo del ganado vacuno, corderos, perros y aves. En el arco sobre su tumba hay cuatro grandes ángeles blancos: Fe, Esperanza, Caridad y Ciencia. De vez en cuando se dice misa en la capilla. El altar es de mármol blanco. Dos veces al año, en el día del nacimiento del maestro y en la fecha de su muerte, los trabajadores del Instituto, los "pasteurenses", bajan a la capilla, algunos de ellos llevando flores en su memoria, y después hacen una visita de cortesía a la señora Pasteur, cuyas habitaciones se encuentran en el segundo piso del Instituto, encima de la capilla...

»Sin embargo, para mí, que le recordaba, que le vi, que le oí hablar, que estreché sus manos, todos los adornos que rodeaban su tumba eran insuficientes y no me decían gran cosa. Porque era, me parece, el hombre más perfecto que entró jamás en el reino de la ciencia... Aquí estaba una vida, dentro de los límites de lo humano, muy cerca de la perfección. Trabajó incesantemente; pasó a través de la pobreza, la aflicción, la enfermedad, la oposición; vivió hasta ver sus doctrinas admitidas en todo el mundo, sus hechos entronizados, sus métodos aplicados a millares de industrias y a las manufacturas y a la agricultura, su ciencia puesta en práctica por todos los médicos y cirujanos, su nombre alabado y bendecido por la humanidad; y si los propios animales pudieran hablar, también lo dirían: genio, ésa es la única palabra. Cuando el genio viene a la tierra, lo cual no ocurre tan frecuentemente como algunas personas listas piensan, escoge de vez en cuando tabernáculos extraños: pero he aquí un hombre cuya vida espiritual no fue menos admira-

ble que su vida científica. En resumen, jamás se exagerará ensalzándolo; y las decoraciones de su tumba, cuando uno conoce su trabajo, resultan pobres al pensar en lo que fue y en lo que hizo. A pesar de eso está bien que repose cerca del trabajo del Instituto, cerca del corazón de París, con la Fe, Caridad, Amor y Ciencia haciendo guardia por él.»

De esta forma el hijo de un antiguo sargento del ejército de Napoleón encontró su lugar en la leyenda dorada del mundo moderno.

Después del colapso del emperador, el sargento Jean Joseph Pasteur se había refugiado en la humilde profesión de curtidor —primero en Dôle, luego en Arbois— en el este de Francia. Una pintura rudimentaria que él mismo hizo, de un hombre con uniforme de soldado reclinado sobre el arado mientras contempla una tierra de ensueño distante, sugiere que el pacífico ciudadano no había olvidado los sueños embriagadores de la época imperial. Y por ello, tal vez porque estaba cansado de ver demasiados cataclismos sociales y militares, lo que más deseaba para su hijo era que se elevara por encima del nivel de los pequeños negociantes hasta la segura aunque oscura dignidad de un nombramiento de enseñanza en la escuela secundaria provincial. En los ojos melancólicos del retrato de su padre, pintado por el joven Louis Pasteur en 1837, se reconoce la resignada sabiduría de tantos ciudadanos sensibles y reflexivos de las viejas comunidades europeas a quienes la historia ha dado la excitación de la aventura y del progreso político, pero que saben también que la sociedad exige una dolorosa contribución de aquellos que desean elevarse por encima de sus normas. En sus muchas cartas a su hijo, lejos de él, en la escuela —primero en Besançon, luego en París—, el viejo soldado expresa una filosofía hogareña, viendo en la ambición social o intelectual excesiva un peligro mucho más grande que aquellos que acechan en el picaresco París. «Hay más sabiduría en esos centenares de litros de vino —aseguraba a su hijo— que en todos los libros de filosofía del mundo.»

Pero, a pesar de este resignado consejo, Jean Joseph Pasteur dedicaba sus propias veladas, después de pesados días de labor en la curtiduría, a leer libros de historia, narraciones de las pasadas glorias francesas, y a adquirir la educación que le parecía el símbolo del más grande linaje humano. ¡Cuánto anhelo por una vida más abierta se encuentra en los esfuerzos del viejo soldado, intentando comprender en su vida madura las hazañas científicas de su hijo, y en su autoeducación para poder aconsejar en la enseñanza a sus turbulentas hijas!

La madre de Louis Pasteur constituye el fondo silencioso y poético de este cuadro familiar. La vemos arropada en un mantón encantador, con toda la dignidad de un ama de casa provinciana, en un magistral retrato al pastel hecho por Louis a la edad de quince años. Y detrás del encanto de su disciplinado rostro, puede leerse toda la intensidad emocional que le inspirara a escribir a su hijo el primer día de enero de 1838, poco antes de su muerte: «Cualquier cosa que ocurra no debe ponerte triste; la vida es sólo una ilusión.»

Nada hacía sospechar en el ambiente doméstico del joven Louis Pasteur el papel inquietante que iba a desempeñar en la ciencia y en la

Pasteur en su época de estudiante en la Escuela Normal Superior de París. Dibujo realizado por Labayle, a partir de un daguerrotipo.

sociedad. Su familia pacífica y humilde, la región apacible, confortable y sosegada en que nació y creció, la aceptación disciplinada de sus maestros en aquel ambiente limitado, todo le invitaba a una vida tranquila, ordenada, no monopolizada por el estudio. Aparentemente, aparece como un muchacho sentimental y trabajador, serio, respetuoso, anhelante de asimilar la cultura clásica de Francia en la bien integrada atmósfera de su ambiente, el conocimiento del papel glorioso que su país había representado en la historia de la civilización occidental. Cuando cambió su provincia natal por los grandes centros del saber de París, no lo hizo para encontrar la respuesta a alguna duda de su alma inquieta, ni por el beneficio de la aventura intelectual, ni aun con la ambición del conquistador social. Lo hizo meramente como un estudiante aplicado que iba donde la enseñanza era más ilustrada, con el fin de prepararse tan bien como le fuera posible para ocupar una posición envidiable en su comunidad. El no había siquiera soñado que el destino le fuese a elegir para el papel histórico que iba a desempeñar más allá de su provincia natal, y aun más allá de Francia, haciendo de él una leyenda en los anales de la humanidad.

Por lo menos nada revela que la varita mágica le hubiese tocado ya cuando entró en la Escuela Normal Superior de París. Unicamente el hecho de que se hubiera dedicado a la pintura de retratos, entre la edad de trece y dieciocho años, le diferenciaba ligeramente de un buen estudiante común. A pesar de la habilidad que muestran, dichos retratos no son más que la expresión consciente de su ambiente inmediato —su padre, su madre, los funcionarios, y la gente notable de la ciudad, una monja anciana pintoresca y sus compañeros de escuela—, todos testigos de la vida vigorosa pero reposada de su ciudad y la escuela. Pero

¿quién sabe qué instintos y competencias ocultaban estos humildes esfuerzos? Los viajes del explorador por terreno peligroso y desconocido, las proyecciones literarias y artísticas de unas divagaciones imaginativas en mundos irreales poco comunes o las visiones de sueños descabellados no son ciertamente las únicas manifestaciones de una mente inquieta. El mero copiar el ambiente que nos rodea puede ser a veces un esfuerzo ingenuo para dominar el mundo mediante un acto de recreación. Y así Pasteur pudo haber empezado en estos retratos de juventud un intento hacia el dominio intelectual y el control de su ambiente.

Lo mismo que en su época escolar, sus primeras cartas y escritos no son un indicio claro de la vida de aventura que iba a vivir. Relata fielmente a sus padres los esfuerzos académicos conscientes que realiza; recomienda a su madre que no se interfiera en el trabajo escolar de sus hermanas dedicándolas demasiado a las tareas domésticas; a sus hermanas las aconseja buen comportamiento y estudio diligente.

«El trabajo es amor mutuo... Puede causar disgusto y aburrimiento al principio; pero aquel que ha comenzado a acostumbrarse al trabajo no puede ya vivir sin él... Con conocimiento uno es feliz, con conocimiento uno se eleva muy por encima de los demás...

»...Actividad y trabajo siempre siguen a la voluntad, y el *trabajo* va acompañado casi siempre del éxito. Estas tres cosas, voluntad, trabajo y éxito, dividen entre sí toda la existencia humana; la voluntad abre la puerta de carreras brillantes y felices; el trabajo nos permite caminar a través de esas puertas, y cuando uno llega al final de la jornada, el éxito viene a coronar nuestros esfuerzos.»

Este sentido rígido de la disciplina estaba suavizado por un gran sentimentalismo y una profunda devoción hacia su familia, sus amigos y su país. Leía libros edificantes y trataba de adaptar su vida y la de otros a sus enseñanzas. Tan intensa era su adhesión a la atmósfera familiar que, cuando fue por primera vez a la escuela en París, no pudo ocultar en sus cartas una expresión patética de soledad: «¡Oh! ¡Qué no daría por una bocanada del olor de la vieja curtiduría!», y volvió a Arbois durante un año con el fin de reunir de nuevo el valor suficiente para ir a encontrar su destino en la capital.

Su padre, madre y hermanas, y más tarde su esposa e hijos, constituyeron su universo emocional, aumentado por unos pocos amigos y por algunos de sus maestros, a los cuales dedicaba una devoción ilimitada. Chappuis y Bertin, camaradas de su juventud, fueron hasta el final sus confidentes. Y regresaba todos los veranos a la vieja casa hogareña de Arbois, así como durante los periodos de desgracias familiares, con objeto de recuperar la fuerza física y moral. De su padre y de los libros de escuela aprendió a identificar su vida con la de Francia, y mantuvo hasta su muerte una profunda lealtad a su familia, amigos y país.

Sus escritos no expresan una indagación filosófica, un problema abrumador, hasta los que redactó a los veinticinco años; indican más bien, con una fuerza nacida de su buena educación, las normas morales de su ambiente y su determinación de vivir de acuerdo con ellas. ¿No es posible, sin embargo, que aun esta filosofía hogareña pueda ser en

ocasiones el producto de una presión intensa para escapar de uno mismo y de su propio ambiente? La mayor parte de los adolescentes experimentan la necesidad —a veces obsesiva— de crecer por encima y aun más allá de su comodidad y sus necesidades físicas, mucho antes de que lleguen a encontrar un ideal o un objeto hacia el cual encaminarse. Tal vez, en la vida de muchos, la dirección en la que va uno, la naturaleza particular del escape, es con mucho de menor importancia que la oportunidad de moverse, de trascenderse a uno mismo, para emerger de la vida vegetal y animal dentro de esas áreas de inmensa variedad que son los lugares de caza reservados a la mente humana.

Pasteur no encontró en época temprana la fórmula de su vida; sólo sabía que tendría que dedicarse al trabajo y a alguna causa que valiera la pena. Su medio inmediato no le sugirió ningún campo en el cual desarrollarse, o algún canal hacia el cual dirigir sus energías. Parecía que no había ningún interés superior, ningún problema filosófico ni esquema en los que encauzar su mente, ni existía anhelo apasionado con que monopolizar sus ideas. De manera casual respondía, al principio, a cualquier voz que le ofreciera un argumento responsable. Como estudiante, en Besançon o en París, su preocupación dominante era alcanzar el pináculo de la clase de matemáticas, física y química, lo que a menudo consiguió mediante su aplicación y laboriosidad. Admitido en 1842 en la sección científica de la Escuela Normal Superior, rehusó entrar en ella debido a que había obtenido el decimosexto lugar en su clase; realizó de nuevo una oposición al año siguiente, para ser readmitido en el quinto lugar. Mientras se preparaba para el profesorado, rogó al famoso químico Jean Baptiste Dumas que le aceptara como asistente en la enseñanza, asegurándole que no deseaba el trabajo por la remuneración económica o para adquirir relaciones estrechas con hombres importantes, sino porque «tenía la ambición de llegar a ser un profesor distinguido». («Mi mayor deseo es... obtener la oportunidad de perfeccionarme en el arte de la enseñanza.») Escribió con orgullo a su amigo Chappuis que había tenido extraordinario éxito como profesor de física y química en sus prácticas de laboratorio. «Masson me dijo que si mi clase de física fue buena, la de química resultó perfecta...; los que algún día seremos profesores debemos pensar en el arte de la enseñanza como nuestro interés principal.» Y, en realidad, fue a este nivel al que sus instructores le juzgaron. «Será un excelente profesor», he aquí el comentario lacónico y frío que le anunció al mundo desde la Escuela Normal.

Sin embargo, ya había recibido Pasteur dentro de las paredes de la vieja escuela, en forma inadvertida para sus compañeros y para la mayor parte de sus instructores, la visita de la musa de la ciencia. El estudiante concienzudo ya no se sentía satisfecho siendo un recipiente pasivo del conocimiento, o un mero transmisor del mismo a otros. Había probado la excitación del descubrimiento. La pasión —el instinto loco— de penetrar en tierras desconocidas de la naturaleza le había poseído.

El investigador comenzaba a reclamar prioridad sobre el profesor. Mientras repetía algunos experimentos clásicos sobre la formación y propiedades de los cristales, se dio cuenta del mundo de misterio que se

El químico francés Jean Baptiste Dumas (1800-1884) ayudó a Pasteur y alentó en él su pasión por la química.

escondía detrás de la pulida enseñanza de los libros de texto y de los profesores. De ahí en adelante, el tormento de lo desconocido pasó a ser un componente dominante de su vida. Pero, aun antes de esta revelación, recibió de Dumas la chispa que había disparado su agudeza hacia el entendimiento de las leyes químicas que gobiernan el mundo de la materia, y la disposición para apreciar el poder que la química podía ejercer sobre las actividades del hombre.

Al igual que muchos químicos y fisiólogos del siglo XIX —por ejemplo, Liebig y Claude Bernard—, Dumas había comenzado su carrera científica como aprendiz de boticario, en una época en que la farmacia no había degenerado todavía en la distribución de medicamentos ya manufacturados y anunciados profusamente. Desde Alais, en el sur de Francia, donde naciera en 1800, Dumas había ido a estudiar a Ginebra. Siendo un joven farmacéutico, había publicado sus estudios sobre el yodo, la sangre, la contracción muscular y la fisiología vegetal, los cuales hicieron su nombre familiar a todos los hombres de ciencia europeos. En París se erigió en poco tiempo como uno de los dirigentes científicos, y como uno de los fundadores de la química orgánica. Formuló en particular la teoría de la sustitución de los radicales químicos, luego la de los alcoholes y de los ácidos grasos, y finalmente se dedicó, con su amigo Boussingault, al estudio de los cambios químicos en relación con los procesos vivos. Estos estudios agotadores no parecieron saciar su vigor creador, ya que retuvo la exuberancia y generosidad de la risueña tierra de su nacimiento. No sólo era un dirigente en el campo de la ciencia,

sino también un buen director de hombres, y pronto se le nombró encargado de la reorganización de la educación superior. Fue senador influyente y ministro durante el Segundo Imperio y la Tercera República; formó parte de todos los comités concernientes a las relaciones entre la ciencia y la sociedad. Amó la autoridad, no por el deseo de ejercer el poder sino porque tenía una necesidad fisiológica de operar a gran escala, gastando sus grandes y variados talentos en asuntos de interés nacional. Le gustó reconocer y apoyar la habilidad y el genio. Fue uno de los primeros en adivinar cuánto contribuiría Pasteur a la ciencia y a Francia, y nunca escatimó su influencia ni su sabiduría para estimular y guiar al joven que fue discípulo suyo, luego su colega y siempre su amigo y admirador. Con una visión y generosidad similares, había protegido Dumas durante quince años a Daguerre, cuando el inventor de la fotografía se había visto obligado a luchar en contra de dificultades técnicas y en contra del ridículo —por mucho que nos sorprenda— que al principio arrojaron sobre él sus contemporáneos.

Dumas era un gran maestro. Llevaba al salón de conferencias la autoridad de su nombre, un sentido inmenso de la dignidad de su profesión y una destacada elocuencia, obtenida merced a la preparación concienzuda de su discurso y al calor de su acento meridional. En los días que dio su curso en la Sorbona, los ochocientos asientos del anfiteatro se llenaron con una audiencia variada, atraída tanto por el gran estilo del químico como por la materia que enseñaba. Afortunadamente, la primera línea de asientos estaba reservada para los alumnos de la Escuela Normal, y el entusiasta Pasteur salía de cada conferencia intoxicado con amplios proyectos. Pasteur conservó por Dumas una veneración que nunca se cansó de expresar, y a menudo hablaba de los días inolvidables en los que su mente se abrió al espíritu de los grandes maestros, a quienes llamaba *allumeurs d'âme*. Estas fueron sus grandes emociones, y al final de su vida gloriosa le gustaba referirse a sí mismo como una consecuencia de los entusiasmos que Dumas le había inspirado.

Cuando era aún estudiante, Pasteur había llamado la atención de otro químico célebre: Antoine Jérôme Balard, entonces profesor de la Escuela Normal. Al igual que Dumas, Balard era oriundo del sur y había sido aprendiz de boticario. Había descubierto el bromo a la edad de veinticuatro años y aumentó su fama en los círculos científicos parisienses debido a un encantador menosprecio por los convencionalismos de la vida social. Aun después de haber sido nombrado miembro del Instituto de Francia, continuó viviendo en un cuarto de estudiante, amueblado con dos sillones desvencijados, pintados por sus propias manos de un color rojo peculiar, con la ilusión de que se parecía a la caoba. Cuando viajaba, todo su equipaje consistía en una camisa y un par de calcetines envueltos en un periódico, que solía deslizar en uno de sus grandes bolsillos. Había adoptado en su trabajo la misma simplicidad que regulaba su vida diaria. Habiendo leído en los escritos de Benjamin Franklin que un buen trabajador debería saber cómo aserrar con una lima y limar con una sierra, le gustaba que sus estudiantes trabajaran sin equipo. Se regocijaba contemplando a Pasteur, obligado a construir con sus pro-

pias manos el goniómetro y el polarímetro necesarios para los estudios cristalográficos, así como la estufa en que efectuaba los clásicos experimentos de la fermentación y de la generación espontánea. Como a menudo sucede, Balard realizó la mayor parte de sus descubrimientos mientras trabajaba sin equipo, en una esquina del mostrador de la botica. Cuando llegó a profesor de química en la Escuela Normal, que ocupa ahora sus nuevos edificios en la rue d'Ulm, engañó a la administración y logró unas cuantas habitaciones adicionales, pretendiendo que serían usadas para la exhibición de colecciones; las transformó en laboratorio de investigación. Instaló también en ellas una cama, haciéndose aún más independiente de la vida convencional. Fue a estos modestos alojamientos a donde Balard llevó al joven Pasteur como asistente. Por aquel tiempo, sin embargo, se interesaba aún más por el trabajo de otros que por el suyo propio, y así dejó al joven estudiante seguir su propio camino, estimulándolo únicamente con su optimismo jovial.

Balard, caprichoso en sus hábitos y pintoresco en la vehemencia de su hablar y gesticular, era también hombre de convicciones. Cuando se enteró de que Pasteur iba a ser destinado a una pequeña escuela secundaria lejos de París por orden del Ministerio de Educación, desencadenó una furiosa campaña de un solo hombre, y el Ministerio tuvo que rendirse. Se le permitió a Pasteur pasar un año adicional en la Escuela Normal, y quedó siempre agradecido a su maestro por esta ayuda. Con una laboriosidad creciente, dedicó entonces todo su tiempo libre a experimentos químicos en el laboratorio de Balard.

Delafosse, uno de los instructores de química, había publicado un estudio concienzudo referente a las propiedades geométricas, físicas y químicas de los cristales. La precisión y elegancia de este campo de investigación atrajeron al pulcro y ordenado Pasteur. Además, pronto le planteó un problema específico que puso a prueba su laboriosidad e imaginación. Había leído en la biblioteca de la Escuela un artículo reciente en el cual el celebrado cristalógrafo alemán Mitscherlich señalaba que las sales de los ácidos tartárico y paratartárico, aun teniendo composición química y propiedades idénticas, diferían en su capacidad para rotar el plano de la luz polarizada. Esta anomalía había permanecido en la mente de Pasteur como un problema obsesivo, y para aclararlo comenzó el estudio que le condujo a reconocer que el ácido paratartárico era una mezcla de dos ácidos tartáricos diferentes que poseían una actividad óptica igual, con excepción del hecho de que uno (la forma derecha o dextro) rotaba el haz de la luz polarizada hacia la derecha, mientras que el otro (el izquierdo o levo) rotaba la luz hacia la izquierda. La génesis y significación de este descubrimiento serán expuestas en capítulos sucesivos. Es suficiente señalar aquí que Pasteur había demostrado, de un solo golpe, poseer independencia de criterio al dudar de la aseveración de un científico de fama mundial, imaginación para conocer la existencia de un problema importante y genio experimental para desarrollarlo. Había exhibido un poder extraordinario de observación detallada, una magnífica competencia al planear la estrategia y la táctica experimentales, y energía incansable y cuidado meticuloso en su ejecución.

Pasteur se había interesado por la estructura de los cristales, sin comprender que su estudio le conduciría a problemas de inmensa significación teórica, pero las proyecciones de sus descubrimientos se le hicieron bien pronto evidentes. Que encontró el problema digno de su interés, es obvio por el entusiasmo que muestra en una carta dirigida a su amigo Chappuis: «¡Cuántas veces he lamentado el que no emprendiéramos juntos estos estudios, los de ciencias físicas! ¡Nosotros que tanto hablábamos del futuro, qué poco lo comprendíamos! ¡Qué hermosos problemas podíamos haber emprendido, o emprenderíamos hoy, y qué no habríamos resuelto, unidos por las mismas ideas, el mismo amor a la ciencia, la misma ambición! Quisiera que contáramos otra vez con sólo veinte años y que los tres de escuela pudieran empezar bajo estas condiciones.» De nuevo, unos años más tarde, escribía a su amigo, acerca del mismo tema y con igual entusiasmo: «Si fuera usted profesor de física o química, ¡trabajaríamos juntos y en diez años revolucionaríamos la química! Hay maravillas escondidas tras el fenómeno de la cristalización, y su estudio revelará algún día la estructura íntima de la materia. Si viene a Estrasburgo tendrá que hacerse químico a pesar suyo. No le hablaré de otra cosa más que de cristales.»

Balard mostró gran orgullo por el trabajo realizado en su laboratorio por el joven Pasteur, y con su exuberancia habitual y voz poderosa, pronto comenzó a comentarlo durante las conversaciones de las reuniones de la Academia de Ciencias de París. Entre los que le escuchaban, ninguno mostraba mayor interés —aunque era algo escéptico— que el veterano físico Jean Baptiste Biot.

Biot tenía entonces setenta y cuatro años. Alejado del mundo, mantenía una elevada independencia, basada en una cultura literaria y científica inmensa y en los ideales más exigentes. Denunciaba la farsa y la simulación dondequiera que la encontraba, sin preocuparle las consecuencias de sus acciones ni importarle las enemistades que se creaba; cuando más tarde se convenció de que el influyente Balard no tomaba ya parte activa en la investigación, luchó él solo contra su nombramiento para la cátedra de química de la Sorbona. Hablando de sus colegas científicos que parecían desdeñar las comunicaciones y que descuidaban el noble lenguaje francés, dijo públicamente con desprecio: «No veo que la calidad de su ciencia se haga más evidente por su falta de cultura literaria.» Entre sus muchas hazañas científicas, débense a Biot algunos de los primeros trabajos sobe la capacidad de los compuestos orgánicos para cambiar la dirección de la luz polarizada (actividad óptica); por lo tanto, él percibió inmediatamente la importancia de la separación del ácido paratartárico en las dos formas opuestas del ácido tartárico. No convencido por los calurosos informes de Balard, solicitó, sin embargo, ver la demostración que diera pie a estas extraordinarias pretensiones.

A una carta de Pasteur, solicitando una entrevista, Biot replicó con su dignidad usual: «Tendré el gusto de comprobar sus resultados si usted me los comunica confidencialmente. Le ruego crea en el interés que me inspiran todos los hombres que trabajan con escrupulosidad y perseverancia.»

Se concertó una cita en el Colegio de Francia, donde vivía Biot, y allí el joven Pasteur demostró la validez de sus pretensiones al distinguido maestro. Desde ese día comenzó entre Pasteur y Biot una de las amistades más delicadas de los anales de la ciencia, formada por afecto filial, por ideales e intereses comunes, por respeto y admiración.

El corazón cálido y sensible que Biot escondía bajo su austeridad y escepticismo se manifiesta en una nota suya dirigida al padre de Pasteur: «Señor, mi esposa y yo agradecemos mucho las amables expresiones de la carta que usted me ha hecho el honor de escribirme. Nuestra enhorabuena fue verdaderamente tan cordial como sincera, porque le aseguro que no podríamos ver sino con el más profundo interés a un padre tan bueno y honorable sentado a nuestra modesta mesa con un hijo tan bueno y distinguido. Nunca he tenido oportunidad de demostrar a ese excelente joven otros sentimientos que aquellos de estimación fundados en su mérito, y un afecto inspirado por su personalidad. El placer más grande que puedo experimentar en mi vejez es el ver a jóvenes de talento trabajando con laboriosidad y tratando de progresar en la carrera científica mediante una labor constante y perseverante y no con intrigas tortuosas.» Al propio Pasteur le escribió, después de esta visita: «Tenemos en alta estima a su padre, la rectitud de su juicio, su firme, calmado y sencillo raciocinio, y el amor que le profesa.» Y poco antes de su muerte le dio a Pasteur su fotografía, con esta dedicatoria: «Si coloca este retrato cerca del de su padre, unirá las fotografías de dos hombres que le han querido a usted mucho y de forma sincera.»

A pesar de las vigorosas protestas de Dumas, Balard, Biot y de otros miembros eminentes de la Academia, ya no pudo Pasteur escapar a la decisión del ministro de Educación de destinarlo —como era costumbre— a un cargo de enseñanza lejos de París. En 1847 se hizo cargo de este nuevo puesto en Dijon, donde enseñó física elemental con su habitual minuciosidad, aunque lamentando la falta de tiempo y facilidades para sus investigaciones. Bien pronto, sin embargo, sus patrocinadores obtuvieron para él un puesto mejor en la Universidad de Estrasburgo, donde —en enero de 1848— fue nombrado profesor de química. En Estrasburgo comenzó uno de los períodos más felices de su vida.

Fue a residir a la casa de Pierre Bertin-Mourot, profesor de física de la facultad, a quien había conocido mientras estudiaba en Besançon y en la Escuela Normal. Profesor consciente y capaz, dedicado por igual a sus estudiantes y a sus amigos, Bertin llevó a la vida de Pasteur la ayuda sonriente de una filosofía benévola, que apreciaba el vino, la cerveza y todos los placeres sencillos de una existencia normal. A la intensidad, impetuosidad y falta de humor de Pasteur, él opuso un escepticismo amistoso, una gran cordialidad equilibrada por el sentido común y un apreciable sentido del deber. Este hombre excelente deseaba que sus esfuerzos permanecieran desconocidos —aquellos relacionados con los cuidados que tenía al preparar sus lecciones, o con la ayuda que tan generosamente brindaba a otros—, porque, como él exponía, «es mi propio negocio». Siguió siendo amigo íntimo de Pasteur durante toda su vida, y cuando más tarde llegó a ser director adjunto de la Escuela Nor-

En enero de 1848, cuando Pasteur fue nombrado profesor de química de la Universidad de Estrasburgo, comenzó una de las épocas más fértiles y felices de la vida del científico. Los años que Pasteur pasó en esta ciudad revelan las cualidades que harían de él uno de los investigadores más afortunados y efectivos de su época.
En la imagen, Pasteur dando su clase de química en la facultad de Ciencias de Estrasburgo, según un dibujo realizado por R. Arnold. Instituto Pasteur, París.

mal en lugar de Pasteur, su actitud jovial y generosa ayudó nuevamente a suavizar la tensión de la vida tormentosa de su famoso colega.

Una carta de su padre revela que Pasteur hizo planes para arreglar su vida de una forma más estable tan pronto como llegó a Estrasburgo: «Me dices que por algún tiempo no te casarás, que pedirás a una de tus hermanas que viva contigo. Me gustaría por ti y por ellas, ya que ninguna podría apetecer felicidad mayor. Ambas no desean otra cosa que cuidar de tu bienestar; eres todo para ellas.»

Estos planes iban a modificarse muy pronto, ya que, entre tanto, Pasteur había sido introducido en la casa del rector de la Universidad, M. Laurent. Le escribió a éste la siguiente carta el 10 de febrero de 1849, pidiendo en matrimonio a su hija Marie Laurent:

«Señor:

»Se le va a hacer a usted, en mi nombre, una petición de la mayor importancia para mí y para su familia, y considero mi deber poner en su conocimiento los hechos siguientes, que pueden tener algún valor para determinar su aceptación o negativa.

»Mi padre es curtidor en la pequeña ciudad de Arbois, en el Jura. Tengo tres hermanas. La menor sufrió, cuando tenía tres años, una fiebre cerebral que interrumpió casi completamente el desarrollo de su inteligencia. Mentalmente es una niña, aun cuando por su cuerpo es adulta. Confiamos en colocarla dentro de poco en un convento, en donde probablemente pasará el resto de su vida. Mis otras dos hermanas cuidan de la casa y ayudan a mi padre en la contabilidad; han tomado, además, el puesto de mi madre, a quien tuvimos la desgracia de perder en mayo último.

»Mi familia vive con comodidad, pero sin grandes bienes; no valoró lo que poseemos en más de cincuenta mil francos, y hace tiempo que decidí transferir mi dote a mis hermanas. Por lo tanto, no poseo ninguna fortuna. Los únicos medios con que cuento son buena salud, alguna energía y mi posición en la Universidad.

»Abandoné la Escuela Normal hace dos años, como *agrégé* en ciencias físicas. Desde hace dieciocho meses poseo el doctorado y he presentado a la Academia de Ciencias algunos trabajos que han sido bien recibidos, especialmente el último, sobre el cual hay una información que tengo el honor de incluir.

»Esto, señor, es toda mi posición actual. En cuanto al futuro, a menos que mis gustos cambiaran completamente, lo dedicaré por entero a la investigación química. Espero regresar a París cuando haya alcanzado alguna reputación a través de mis estudios científicos. Monsieur Biot me ha dicho con frecuencia que piense seriamente en la Academia. Puede ser que lo haga en diez o quince años y después de trabajo asiduo; pero esto es sólo un sueño y no el motivo que me hace amar la ciencia por la ciencia misma.

»Mi padre vendrá a Estrasburgo para hacer la propuesta de matrimonio. Nadie sabe aquí del proyecto que he formado, y estoy seguro que si usted rehúsa mi solicitud, su negativa no será conocida por nadie...

»P.S.—Cumplí veintiséis años el 27 de diciembre.»

Así Pasteur dio este paso importante en su vida personal pocas semanas después de haber conocido a Marie Laurent, con la misma impetuosidad que le condujo a tomar decisiones rápidas, y en ocasiones instantáneas, en su carrera científica. Sus cartas a Marie Laurent, ya publicadas, dan alguna idea de la intensidad de su emoción: «No he llorado tanto desde la muerte de mi querida madre. Me desperté repentinamente con la idea de que ya no me amabas e inmediatamente comencé a llorar.» «Mi trabajo ya no significa nada para mí. Yo, que amé tanto mis cristales; yo, que siempre deseaba por las tardes que la noche fuera más corta para volver a mis estudios.» Pero la alteración causada en su vida de trabajo por esta explosión sentimental fue solamente un escarceo que en realidad no modificó su trabajo científico inmediatamente después de su matrimonio, el 29 de mayo. Muchas tragedias afectaron su vida privada profundamente en años posteriores; la pérdida de su amado padre, la temprana muerte de dos de sus hijas y de una hermana, la parálisis que le atacó en 1868. Pero la atmósfera ideal de su vida conyugal le ayudó a aguantar estas pruebas y a continuar el curso ininterrumpido de su vida productiva.

Marie Laurent tenía veintidós años cuando se casó; era una muchacha de ojos azules, gentil, graciosa, con una agradable voz cantarina, cuya alegría de vivir se esparcía en tonos plateados a medida que iba desempeñando sus deberes domésticos. A través de los deprimentes años sucesivos, conservó este regocijo de espíritu. Cuando Pasteur le propuso matrimonio, no tenía nada que ofrecerle sino una vida de estudio, con medios materiales modestos. Lo más que pudo brindarle, en un momento de confianza, fue ganar la inmortalidad para sus nombres. Madame Pasteur desempeñó su papel para asegurar esta inmortalidad, consagrándose a su marido y a los sueños de éste y adaptando su conducta a la meta que él había formulado para sus vidas. Ella aceptó las muchas limitaciones que implicaba el pequeño salario de profesor. Los ingresos adicionales procedentes de premios se destinaban a la compra de equipo científico. Además soportó el trasvase de los problemas que él llevaba desde el laboratorio a la atmósfera del hogar, y el conocimiento de que siempre era el trabajo lo primero, aun antes que los placeres normales de la sencilla vida familiar. Escribía a sus hijos en 1884: «Vuestro padre está absorto en sus pensamientos, habla poco, duerme poco, se levanta al amanecer y, en pocas palabras, continúa la vida que empecé con él hace treinta y cinco años.»

Ella comprendía y toleraba todo esto. La parte tan grande que desempeñó en las hazañas del maestro ha sido descrita por Roux, quien estuvo asociado con Pasteur durante veinte años.

«Desde los primeros días de su vida en común, madame Pasteur conoció la clase de hombre con quien se había casado. Hizo todo lo posible por protegerle de las dificultades de la existencia, tomando para sí las preocupaciones del hogar, de modo que él pudiera conservar completa libertad de mente para sus investigaciones. Madame Pasteur amó a su esposo hasta el extremo de comprender sus estudios. Durante las noches, escribía bajo su dictado, solicitando aclaraciones, pues se inte-

Louis Pasteur, a los treinta años de edad, durante su época de profesor en la Universidad de Estrasburgo.

Marie Laurent, algunos años antes de convertirse en la esposa de Pasteur.

resó positivamente por la estructura cristalina o por los virus atenuados. Ella se había percatado de que las ideas se hacen más claras cuando se explican a otros, y de que no hay nada que conduzca mejor a preparar nuevos experimentos que la descripción de los que acaban de ser realizados. Madame Pasteur fue más que un camarada incomparable para su esposo; ella fue su mejor colaborador.»

Cuando murió en 1910, fue a descansar al lado del compañero con quien había identificado su vida tan completamente. Debido a que en realidad fue la compañera fiel de la misión humana y divina de Pasteur, resulta adecuado que las palabras latinas *Socia rei humanae atque divinae* quedaran grabadas en su tumba.

Los años de Estrasburgo revelan, de un modo claro y pintoresco, las cualidades que harían de Pasteur uno de los experimentadores más afortunados y al mismo tiempo uno de los más efectivos de su época. En verdad, resulta difícil darse cuenta de cómo el profesor joven y sin experiencia pudo producir, en contra de lo que para otros constituiría la desventaja de la felicidad doméstica, tan variada cosecha de nuevos hechos, de teorías científicas y sueños filosóficos. Había llegado a comprender que la actividad óptica de las sustancias orgánicas podía utilizarse como un instrumento para el conocimiento de la estructura molecular; en el fondo de su corazón estaba creciendo también la esperanza de que el estudio de la asimetría molecular llegaría a arrojar luz sobre la génesis de la vida. En 1851 escribió a Chappuis: «... Ya le he dicho que estoy al borde de los misterios, y que el velo que los cubre está resultando cada vez más sutil. Las noches me parecen demasiado largas; sin embargo, no me quejo porque preparo mis clases fácilmente y a menudo cuento con cinco días completos para dedicar al laboratorio. Con frecuencia me reprende madame Pasteur, a quien consuelo diciéndole que la conduciré a la posteridad.»

Sus esfuerzos científicos aumentaron con el ensanchamiento de sus esperanzas e ilusiones. Inició un viaje fatigoso a través de Europa central para descubrir el origen natural del ácido paratartárico, al cual debía su primer triunfo científico.

De vuelta a Estrasburgo, empleó el dinero recibido de la Sociedad de Farmacia (como el premio de su síntesis del ácido paratartárico) en obtener el equipo adicional de laboratorio y la ayuda de un asistente. Su nombre era entonces ampliamente conocido en los círculos químicos. Las distinciones académicas, la Legión de Honor y hasta una proposición por parte de alguno de sus admiradores para incluir su nombre como miembro de la Academia de Ciencias eran índices del extenso reconocimiento ganado mediante sus estudios químicos. Pasteur, sin embargo, tenía sueños aún más grandes. Impresionado por el hecho de que sólo agentes vivos podían producir compuestos asimétricos ópticamente activos, formuló hipótesis románticas sobre la relación de la asimetría molecular con los procesos vivos, e inició atrevidos experimentos que implicaban la idea de crear vida de nuevo, o modificarla mediante la introducción de fuerzas asimétricas en el curso de las reacciones químicas. Así, después de diez años de trabajo disciplinado en la tradición clá-

Pasteur en 1849, año en que contrajo matrimonio.

sica, había encontrado finalmente un escape científico para su genio romántico. Madame Pasteur se refería a esta fase de su trabajo cuando escribió al padre de Pasteur, por supuesto reflexionando sobre las esperanzas más queridas de su esposo: «Louis está siempre preocupado por sus experimentos. Usted ya sabe que lo que está desarrollando este año nos dará, si tiene éxito, un Newton o un Galileo.» Dumas, Biot y otros de sus admiradores trataron en vano de desanimarlo de esta investigación —digna de un alquimista—, pero sólo la comprensión de su fracaso le detuvo después de algún tiempo, y nunca olvidó sus sueños enervantes. Aun durante sus años postreros tan ocupados, cuando estaba interesado en problemas completamente diferentes y empeñado en luchas y controversias apasionadas, aceptaba invitaciones para disertar sobre asimetría molecular y nunca dejó de subrayar la relación que adivinó entre esta propiedad química y el proceso de la vida.

Bien pronto, un conjunto de circunstancias le dio la oportunidad de dirigir su interés hacia la química de la vida en sus metas más asequibles. En 1854 observó que, en una solución de paratartratos contaminados con un hongo, la forma «derecha» del ácido desaparecía, mientras que la forma opuesta persistía en el líquido madre. Esto revelaba, por vez primera, la estrecha dependencia de un proceso fisiológico —en este caso la destrucción del ácido tartárico por un microorganismo— de la asimetría de la molécula química. Mientras Pasteur reflexionaba sobre este extraordinario descubrimiento, un decreto del ministro de Educación Pública le nombraba profesor de química y decano de ciencias en la facultad de Lille, de nueva creación, con la recomendación de que

centrara su enseñanza y sus actividades científicas en los intereses de las industrias locales. La fermentación del azúcar de remolacha para la producción de alcohol era una de las industrias más importantes de la región de Lille, y pronto comenzó Pasteur a trabajar en el problema de la fermentación alcohólica. Madame Pasteur escribió a su suegro: «... Louis está ahora metido hasta el cuello en jugo de remolacha. Pasa todos los días en la destilería. Probablemente le habrá dicho a usted que sólo da una clase por semana; esto le deja mucho tiempo libre, del cual, le aseguro, usa y abusa.» De este episodio vinieron los celebrados estudios sobre fermentaciones que llevaron a Pasteur a establecer íntimo contacto con los fenómenos químicos de los procesos vivos y, finalmente, le condujeron al problema de la enfermedad. En 1857 introdujo la teoría microbiana de la fermentación ante la Sociedad de Ciencias de Lille, señalando su creencia de que todas las transformaciones de la materia orgánica de la naturaleza estaban causadas por varias especies de microorganismos, cada una adaptada a provocar una reacción química específica.

En Pasteur la idea de sus responsabilidades iba más allá de sus propios intereses científicos. Con la más exacta consciencia y energía conductora adaptó sus enseñanzas a la posible aplicación de la química a todas las industrias de Lille. Organizó demostraciones y ejercicios especiales de laboratorio en beneficio de los jóvenes que pronto pasarían del banco de la Universidad a la fábrica, e hizo arreglos para visitar los centros de actividad industrial en Francia y en Bélgica. Dos años después de su llegada a Lille, el filósofo científico se había convertido en servidor de la sociedad; y de entonces en adelante la mayor parte de sus esfuerzos iban a estar orientados, directa o indirectamente, hacia el deseo de resolver los problemas prácticos de su ambiente.

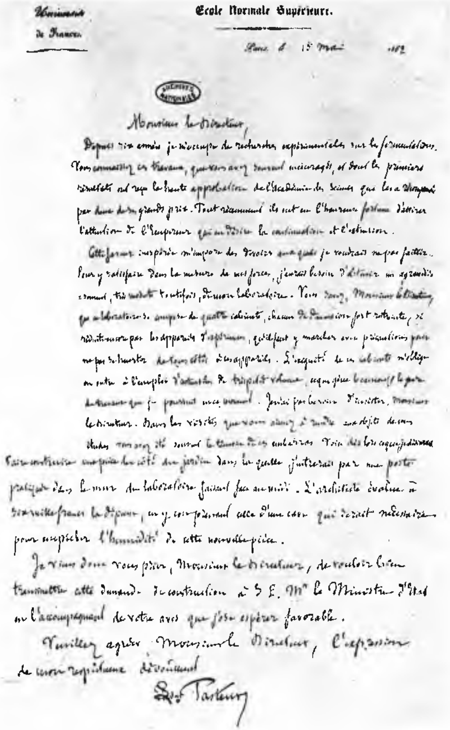
A finales de 1857 Pasteur fue nombrado director adjunto, encargado de los estudios científicos y de la administración general de su vieja Alma Mater, la Escuela Normal Superior de París. Sus obligaciones comprendían la supervisión de los locales, pensión, atenciones médicas y la disciplina general de los estudiantes, así como también las relaciones entre la escuela y los padres y otros establecimientos educativos. No tomó estas nuevas responsabilidades a la ligera, como puede verse por sus informes, en los cuales discute, de forma concienzuda y vigorosa, los problemas relacionados con la administración de los edificios, la imposición de medidas disciplinarias y la reorganización de los altos estudios.

Su nueva posición no le proporcionó ni laboratorio ni fondos para investigación, ya que Balard fue sustituido en la Escuela Normal por Sainte-Claire Deville, quien se había apoderado de los laboratorios y de los créditos destinados a la cátedra de química. Impávido ante estas dificultades, Pasteur encontró en el ático de la Escuela dos cuartos muy pequeños abandonados a las ratas y los convirtió en un laboratorio que equipó con fondos del presupuesto familiar. Los estudios sobre la fermentación alcohólica comenzados en Lille se completaron en estos locales miserables. Sus resultados se presentaron, en diciembre de 1857, ante la Academia de Ciencias de París, concluyendo en ellos que la con-

El laboratorio de Pasteur, según un óleo de Amedée Buffet. Instituto Pasteur, París. En un pequeño y modesto laboratorio consiguió Pasteur los resultados que hicieron famoso su nombre en el campo de la ciencia.

versión del azúcar en alcohol y dióxido de carbono se debía a la actividad de una levadura, una planta microscópica. En los términos más categóricos, Pasteur señaló que la fermentación estaba siempre en relación con la vida de la levadura.

Poco después obtuvo de las autoridades el nombramiento de un ayudante, cuyo tiempo iba a estar dedicado completamente al trabajo de investigación, una posición hasta entonces inaudita. Se le permitió, además, traspasar su laboratorio a un pabellón un tanto primitivo, consistente en cinco pequeños cuartos en dos pisos, que había sido construido para el arquitecto de la escuela y sus empleados. Ocupado todo el espacio y falto de fondos, improvisó debajo de la escalera una estufa que sólo podía alcanzarse gateando con ayuda de manos y rodillas. A pesar de ello, fue en este cuarto incómodo donde Pasteur observó diariamente, durante largas horas, los innumerables frascos con los que convenció al mundo de que la «generación espontánea» era una quimera. Al cabo de unos pocos años este pequeño laboratorio se agrandó mediante construcciones adicionales, y de estos cuartos —tan modestos en relación con los actuales— salieron los resultados de los estudios que hicieron famoso el nombre de Pasteur en muchos campos del saber y familiar dondequiera que la civilización prevalece; un símbolo del poder benefactor de la ciencia. Para cualquiera que esté familiarizado con los suntuosos institutos de hoy, tiene un encanto nostálgico el leer so-


Université de France.

École Normale Supérieure.

Paris, le 15 Mai 1862

Monsieur le Directeur,

Depuis six années je m'occupe de recherches expérimentales sur les fermentations. Vous connaissez ces travaux, que vous avez souvent encouragés, et dont les premiers résultats ont reçu la haute approbation de l'Académie des Sciences qui les a récompensés par l'un de ses grands prix. Tout récemment ils ont eu l'heureuse fortune d'attirer l'attention de l'Empereur qui en désire la continuation et l'extension.

Cette faveur inespérée m'impose des devoirs auxquels je voudrais ne pas faillir. Pour y satisfaire dans la mesure de mes forces, j'aurais besoin d'obtenir un agrandissement, très modeste toutefois, de mon laboratoire. Vous savez, Monsieur le Directeur, que ce laboratoire se compose de quatre cabinets, chacun de dimensions fort restreintes, et encombrés par les appareils d'expériences, qu'il faut y mettre en ... pour ne pas se heurter de tous côtés à ces appareils. L'exiguïté de ces cabinets m'oblige en outre à l'emploi d'autant de trépieds ..., ce qui gêne beaucoup le genre de travaux que je poursuis avec ardeur. J'aurais par besoin d'ajouter, Monsieur le Directeur, dans les visites que vous avez daigné rendre aux sujets de mes études vous avez été souvent le témoin de ces embarras. Voici dès lors ce que je désirerais : faire construire une pièce du côté du jardin dans laquelle j'entrerais par une porte pratiquée dans le mur du laboratoire faisant face au midi. L'architecte évalue à sept mille francs la dépense, en y comprenant celle d'une cave qui serait nécessaire pour empêcher l'humidité de cette nouvelle pièce.

Je viens donc vous prier, Monsieur le Directeur, de vouloir bien transmettre cette demande de construction à S. E. Mr le Ministre d'État en l'accompagnant de votre avis que j'ose espérer favorable.

Veuillez agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mon respectueux dévouement

L. Pasteur

Nota autógrafa de Pasteur enviada por él a la Escuela Normal.

bre la pared de la rue d'Ulm, cerca de un medallón con el retrato del maestro: *Ici fut le laboratoire de Pasteur.*

La Academia de Ciencias concedió a Pasteur en 1860 el premio de fisiología experimental, en reconocimiento a sus estudios sobre la fermentación. Nada pudo darle un placer más vivo, pues, como escribió a Chappuis y a su padre, su ambición era ahora tratar acerca de «los misterios de la vida y de la muerte». Mediante estas dramáticas palabras indicaba el problema de la «generación espontánea» y el papel de los microorganismos en la transformación de la materia orgánica como causa de enfermedad.

En vano habían tratado Biot y Dumas de impedir a Pasteur entrar en la controversia sobre «generación espontánea», un problema que consideraban demasiado complejo para un estudio experimental. Pasteur persistió en resolverlo, porque estaba convencido de que la teoría microbiana no podía establecerse firmemente mientras se mantuviera la creencia en la generación espontánea y porque vio en la controversia una cuestión de inmensas consecuencias filosóficas. Para entonces, había adquirido una confianza tan absoluta en su habilidad experimental, y estaba tan al tanto de su éxito como expositor científico, que ya no dudó de su habilidad para tratar cualquier problema y para dominar cualquier oposición. Esta fe tan absoluta en sí mismo, que aparece a menudo como una presunción arrogante, se refleja en la seguridad suprema con que afirmó que sus resultados tenían una validez definitiva y que eran inexpugnables, en los ataques despectivos que dirigió a las exposiciones de sus opositores, en la forma en que los desafiaba durante los debates y demostraciones científicas ante los comités académicos. Sus estudios sobre la generación espontánea hicieron aparecer las primeras de las famosas controversias públicas que tienen un aspecto tan peculiar en su vida científica. Desde entonces, cada uno de los problemas que trató fueron motivo de debates oratorios y literarios en los cuales triunfó siempre sobre sus opositores, no sólo por la solidez de sus hechos, sino también por su vigor apasionado y por la elocuencia y habilidad de sus argumentos. Se convirtió en un cruzado de devota fe en su credo y, asimismo, poseído por la certeza de que su misión era hacerlo triunfar.

Este espíritu de lucha no era simplemente una manifestación teatral, sino parte esencial de su carrera científica. En muchos casos, Pasteur diseñó experimentos para convencer al público científico de una verdad que él había alcanzado mediante percepción intuitiva. Sus demostraciones más originales se preparaban, a menudo, como golpes para confundir a sus adversarios. Parece mejor, por lo tanto, posponer hasta más tarde una relación detallada de estos famosos debates, ya que tanto contribuyeron a esclarecer la teoría microbiana y a introducirla en la conciencia científica del siglo XIX.

Además de los estudios sobre la generación espontánea y sobre la distribución de los microorganismos en la atmósfera, entre los años de 1860 y 1865 los libros de notas de Pasteur están llenos de hallazgos espectaculares: el descubrimiento de la fermentación butírica y la vida sin

aire, el papel de las levaduras y de las bacterias en la producción del vino y del vinagre y como causa de las enfermedades de éstos; la demostración de que la materia orgánica se descompone mediante el concurso de incontables especies de microorganismos; la enseñanza de que «sin lo infinitamente pequeño, la vida se haría en breve tiempo imposible debido a que la muerte sería incompleta». Otros, antes que él, habían visto y descrito protozoos, hongos y bacterias; pero fue Pasteur quien más claramente tuvo la visión profética de la importancia de aquéllos en la economía de la naturaleza, y quien reveló al mundo el «poder infinito de lo infinitamente pequeño».

Largos días en el laboratorio y acalorados debates en las academias científicas no fueron suficientes para fatigar la energía de Pasteur. En cualquier circunstancia en que los problemas lo exigiesen continuó sus estudios, a menudo en el campo. Los experimentos acerca de la distribución de los gérmenes en el aire fueron efectuados en el ambiente tranquilo de los subterráneos del Observatorio de París y en los altos picos de los Alpes. Muchas de las investigaciones sobre los vinos y sus enfermedades tuvieron lugar en Arbois, en regiones de viñedos, donde había improvisado, primeramente en una taberna, el laboratorio, sin suministro tan siquiera de gas, para gran sorpresa y confusión de los habitantes y transeúntes.

Dio conferencias en sociedades cívicas sobre el asunto de la estructura molecular; a los fabricantes de vinagre de Orleáns, sobre las bases científicas de su negocio. Al público en general, sobre las consecuencias de la teoría microbiana y de la generación espontánea. Con una voz grave, pausada y seria, llevó a sus oyentes la lucidez de su visión, la intensidad de sus convicciones; al igual que su espíritu de lucha, su elocuencia era parte de su temperamento científico. Estaba tan ansioso por alumbrar y convencer al mundo como de descubrir la verdad.

A pesar de todos sus triunfos, la oposición no cedió, y fue derrotado dos veces al presentarse para ser elegido miembro de la Academia de Ciencias. Finalmente, en diciembre de 1862 resultó elegido miembro de la sección de mineralogía, pero sólo con 36 votos de los 60. Dícese que cuando se abrieron las puertas del cementerio de Montparnasse al día siguiente, una mujer llegó hasta la tumba de Biot con sus manos llenas de flores. Era madame Pasteur, quien las traía al gran maestro, que yacía allí desde el 5 de febrero de 1862 y que había amado a Pasteur con afecto tan profundo. Biot había enriquecido al joven Pasteur con su saber y su integridad intelectual. El discípulo se había hecho un maestro reconocido, e iba a continuar ampliando el patrimonio de la ciencia durante treinta años más, alcanzando una fama que iría más allá de los sueños más queridos de Biot.

Nada ilustra mejor la fe que tenían en las proezas científicas de Pasteur algunos de sus más distinguidos contemporáneos que la extraña solicitud que le hizo Dumas en 1865. Una enfermedad catastrófica del gusano de seda estaba entonces arruinando la producción en el sur de Francia. Aun cuando Pasteur nada sabía de la enfermedad, y no había visto nunca un gusano de seda, ni una morera, Dumas le pidió que in-

vestigara la causa de la epidemia. Resulta por igual sorprendente el hecho de que Pasteur aceptase el desafío y tuviese la energía necesaria para trabajar durante cuatro años consecutivos en condiciones agotadoras. El control práctico de la epidemia del gusano de seda exigía algo más que perspicacia científica. Para que tuviera valor su trabajo ante los criadores de ese gusano, Pasteur tenía que demostrar la calidad de un industrial próspero, interesado en cuestiones económicas, a la par que en problemas técnicos; tenía que estar siempre presto a resolver objeciones y condescender a adaptar sus expresiones y métodos al limitado equipo intelectual o científico de su público.

La campaña del gusano de seda fue una iniciación magnífica en el problema de las enfermedades de los animales, y convenció firmemente a Pasteur de que las epidemias podían y debían ser dominadas. Sin embargo, pasaron varios años antes de que entrara en el campo de la patología humana y animal. Este retraso debióse en parte a su indecisión en tratar los aspectos técnicos de un problema en los cuales no tenía entrenamiento, y que eran del dominio celosamente restringido de médicos y veterinarios. Además, circunstancias inesperadas le forzaron a limitar su actividad para cambiar por algún tiempo la dirección de su interés.

En 1868, Pasteur sufrió una hemorragia cerebral que puso en peligro su vida y que le ocasionó una parálisis permanente del brazo y pierna izquierdos. Apenas empezaba a recuperar su salud cuando comenzó la guerra franco-prusiana, seguida por el levantamiento de la *Commune* de París. Aun lejos de su laboratorio, todavía distraído por el desastre nacional y la preocupación por su hijo incorporado al ejército, volvió con el pensamiento a sus primitivos intereses científicos. En la misma forma en que lo había hecho veinte años antes, planeó experimentos para introducir fuerzas asimétricas en el curso de las reacciones químicas en el desarrollo de las plantas. Estaba todavía presente en su mente la esperanza de que a él se le proporcionaba la aventura tentadora de modificar el curso de los procesos vivos.

Cuando terminó la guerra, las necesidades sociales inmediatas exigieron prioridad sobre los intereses teóricos, y consideró su deber el poner sus conocimientos al servicio de la economía francesa. Por una elección un tanto patética, resolvió mejorar la calidad de la cerveza francesa, para demostrar que la ciencia podía contribuir a la recuperación nacional, aun en el terreno en el que era obvia la superioridad de Alemania.

Estos estudios sobre la cerveza duraron desde 1871 hasta 1876. Con ayuda financiera de la industria, el laboratorio de la rue d'Ulm se transformó en una pequeña cervecería experimental. Se establecieron contratos personales con cerveceros franceses e ingleses y, en poco tiempo, se obtuvieron grandes progresos hacia un objetivo práctico. Este progreso no se refería en especial al mejoramiento del sabor de la cerveza, sino a la demostración —como se había encontrado en el caso de las enfermedades del vino y del vinagre— de que el daño estaba causado por varios microorganismos extraños. Al comprender esto, se hizo posible disminuir las contaminaciones durante la fabricación de la cer-

veza y aumentar las cualidades de preservación del producto terminado, mediante la técnica de la «pasteurización».

Estos resultados prácticos parece que le tomaron poco tiempo. Pero Pasteur aprovechó la oportunidad de este nuevo contacto con el problema de la fermentación para sondear más profundamente las actividades químicas y fisiológicas de la levadura, para compararlas con las de otras células vivas y para lograr, gracias a ellas, profundas generalizaciones referentes a la unidad bioquímica fundamental de los procesos de la vida.

Una vez más, el filósofo natural reclamó su derecho sobre el tecnólogo experimental. El instinto de comprender la naturaleza había permanecido tan intenso como el deseo de responder a las demandas prácticas de la sociedad.

Algunos médicos se habían dado cuenta de la significación potencial de la teoría microbiana en la interpretación de las enfermedades contagiosas y epidémicas. El más prominente entre ellos era el cirujano escocés Joseph Lister, quien se había inspirado para la introducción del método antiséptico en las operaciones quirúrgicas en las demostraciones de Pasteur sobre la gran diseminación de los microorganismos en el aire. En 1863, Pasteur fue elegido miembro de la Academia de Medicina de París, e inmediatamente comenzó a participar de modo activo en los debates sin cansarse de señalar a sus colegas la analogía entre fermentación, putrefacción y enfermedad.

La ciencia médica se estaba acercando por un tortuoso camino al concepto claro de la infección, y comenzaba a darse cuenta del papel que desempeñan los microorganismos en las enfermedades. En 1866, Robert Koch en Alemania y Pasteur en Francia comenzaron independientemente las investigaciones que hicieron época sobre el ántrax, a partir de las cuales marcan los historiadores la teoría microbiana de la enfermedad; sus experimentos decisivos elucidaron finalmente el enigma del contagio. Mediante un esfuerzo prodigioso realizado a través de un período de diez años, estableció Pasteur el hecho de que las bacterias y los virus filtrables pueden ser la causa primaria y única de la enfermedad. Arrojó un torrente de luz sobre el mecanismo mediante el cual los agentes patógenos se difunden en las comunidades tanto animales como humanas y producen en los huéspedes susceptibles aquellas alteraciones profundas de la fisiología normal que pueden culminar, finalmente, en la muerte. Aún más sorprendente es el hecho reconocido de que, antes del contacto con el agente microscópico de la enfermedad, puede hacerse resistente al mismo un huésped susceptible; desarrolló técnicas mediante las cuales se puede inducir en forma segura un estado de resistencia —inmunidad específica— haciendo primeramente inocuo el agente infeccioso. La teoría y las prácticas de inmunización fueron aplicadas por el propio Pasteur en el cólera de las gallinas, en el carbunco, en la erisipela de los cerdos y la rabia, y encontraron aplicación amplia en otras enfermedades en esa época. Cuando en 1888 la mala salud le obligó a abandonar sus instrumentos, la bacteriología médica y las ciencias hermanas de la inmunología, salud pública y epidemiología, habían

alcanzado la madurez, en su más alto grado, merced a su genio y dedicación.

No había resuelto Pasteur el problema de la vida, pero había ayudado a hacer retroceder las fronteras de la muerte y a conseguir una más fácil estancia del hombre sobre la tierra.

La mera enumeración de las hazañas científicas de Pasteur sólo da una ligera idea de la intensidad y riqueza de su vida. Hubo ignorantes que enseñar, escépticos que convencer, oposición porfiada y prejuicios que dominar. Nunca eludió la lucha, jamás aceptó la derrota ni en el laboratorio, ni en las academias, ni en el campo. Fue a encontrar a los médicos y cirujanos en sus hospitales, a los veterinarios en los establos.

Para convencer a los ganaderos de que la protección del ganado mediante la vacunación era posible en la práctica, aceptó pocos meses después del descubrimiento de la inmunización un desafío en el que se sometía su método a la decisiva prueba de un ensayo en el campo; esto ocurrió en Poully-le-Fort, cerca de Melun, y allí, en 1881, la supervivencia de veinticinco carneros vacunados hizo que el mundo tuviera conciencia de que la medicina había entrado en una nueva era. En julio y en octubre de 1885, dos jóvenes campesinos, Joseph Meister y Jean Baptiste Jupille, quienes habían sido mordidos por perros rabiosos, le fueron presentados con la esperanza de que los curara de la rabia; aceptó con angustia mental el someter a los dos jóvenes a su método de tratamiento, el cual, sin precedente en los anales de la medicina, heterodoxo en principio y sin confirmar en la práctica, debía haber causado la muerte de aquellos que habían llegado hasta él como ante un salvador. Meister y Jupille sobrevivieron, y el mundo gritó de alborozo.

Como veremos, el tratamiento antirrábico puede que no sea tan efectivo ni de tanta importancia práctica como en aquel entonces se creyó, pero por su valor, Pasteur había reforzado la fe de la sociedad en la medicina científica. Bien pronto fondos privados y públicos comenzaron a afluir hacia la investigación médica.

No fue sólo hacia el fomento de su propio trabajo a lo que Pasteur dedicara sus energías. Al reconocer, con un sentimiento de desesperación, que Francia estaba perdiendo lentamente su dirección intelectual debido a la negligencia con que el país trataba a las instituciones de enseñanza superior, hizo una llamada a las autoridades gubernativas y al público para que se auxiliara a investigadores y laboratorios. Al pedirle Dumas apoyo para la preparación de una edición completa de los trabajos de Lavoisier, inició un estudio completo del gran químico francés antes de escribir una apreciación de su influencia en la historia de la ciencia. Con motivo de su elección a la Academia Francesa de Letras, dedicó varios días a estudiar la fe filosófica y la vida de su predecesor académico, Littré, y aprovechó la ocasión del elogio tradicional para señalar el contraste entre las exageradas esperanzas de la filosofía positiva y sus propias convicciones de que los problemas filosóficos y religiosos no pueden analizarse con los métodos de la ciencia. Cuando el fisiólogo Claude Bernard se vio obligado, por enfermedad, a abandonar sus estudios por un año, Pasteur trató de suavizar el retiro forzoso de su co-

lega escribiendo una relación entusiasta de los estudios filosóficos y fisiológicos de Bernard. Cuando fue nombrado profesor de física y química en la Escuela de Bellas Artes, rehusó tratar a la ligera la materia. En su lugar, preparó para sus estudiantes análisis críticos de las relaciones entre los proyectos arquitectónicos y la salud y la comodidad humanas, descripciones eruditas sobre la importancia del conocimiento químico en la práctica de la pintura al óleo y experimentos sencillos para ilustrar las propiedades de diferentes pigmentos grasos.

El orden meticuloso que dirigía su actitud en el laboratorio caracterizó también su actividad pública y privada. A diferencia de Faraday, quien se retiró del mundo para dedicar todo su genio y energía a la ciencia experimental, y a diferencia de la mayor parte de los hombres de ciencia, que abandonan la experimentación tan pronto como pesan sobre ellos otras responsabilidades, Pasteur se las compuso para permanecer fiel al laboratorio mientras servía a la sociedad. Fue un científico ferviente y un ciudadano cumplidor.

Las tragedias nacionales y personales dieron rienda suelta a la calidad ardiente de su temperamento. Tenía la intransigencia y la exaltación del patriota. El bombardeo de París, y en particular el del Museo de Historia Natural, por los prusianos, en 1871, le hicieron devolver, emitiendo palabras amargas y de desprecio, el grado honorario que había recibido de la Universidad de Bonn. Aunque orgulloso como estaba de las gloriosas tradiciones de su país, sabía bien que la Francia de 1870 ya no era la dirigente del pensamiento europeo como lo fuera en el siglo XVIII. Y sin embargo, mientras veía con envidia y asombro el vigor de la civilización más allá de las fronteras francesas, conservaba inalterable su romántica devoción hacia su país. Siempre habló de Francia con la misma ternura que usó al hablar de su propia familia; sintió ambas como una misma parte de sí.

De la misma forma en que sufrió su afecto patriótico, así sintió profundamente las pérdidas que angustiaron a su familia. En 1865, mientras trabajaba en Alais sobre las enfermedades del gusano de seda, recibió un telegrama anunciándole que su padre estaba muy grave. Inmediatamente salió para Arbois, pero llegó demasiado tarde para ver con vida por última vez al hombre que había sido su inspiración, su confidente y su estrella guía, el símbolo de la familia y del país, del afecto y del deber. Aquella noche, Pasteur, entonces de cuarenta y tres años, escribió a su esposa desde la vieja casa donde habíase formado su carácter:

«Querida Marie, queridos niños:

»El abuelo ya no existe. Le hemos llevado esta mañana a su último lugar de reposo, cerca del de la pequeña Jeanne. En medio de mi dolor, me he sentido agradecido porque nuestra pequeñita haya sido enterrada allí... Hasta el último momento confié en que le vería de nuevo, en que le abrazaría por última vez... Pero cuando llegué a la estación vi a alguno de nuestros primos enlutados, que venían de Salins; fue entonces cuando comprendí que no podría sino acompañarlo hasta la tumba.

»Murió el día de tu primera comunión, querida Cécile; estos dos recuerdos permanecerán en mi corazón, niña mía. Tuve presentimiento

de ello cuando, aquella misma mañana, a la hora en que él murió, yo te pedía que rogaras por el abuelo de Arbois. Tus oraciones habrán sido recibidas ante Dios y tal vez el propio abuelo querido se enteró de ellas y se regocijó con la pequeña Jeanne al ver la piedad de Cécile.

»He estado pensando todo el día en las muestras de afecto que he recibido de mi padre. Durante treinta años he sido su constante preocupación; se lo debo todo a él. Cuando yo era joven, me apartaba de las malas compañías y me inducía al hábito del trabajo y al ejemplo de la vida leal y satisfactoria. El estaba por encima de su posición, tanto por su mente como por su carácter... Tú no le conociste, querida Marie, en la época en que él y mi madre trabajaban duramente por los hijos que amaban, por mí en especial, cuyos libros y escuela tanto costaban... Y la parte más conmovedora de su afecto hacia mí es que jamás estuvo mezclado con la ambición. ¿Te acuerdas que le hubiera gustado verme director del colegio de Arbois? El previó que el ascenso significaba dura labor y tal vez males para mi salud. Y, a pesar de ello, estoy seguro de que algo del éxito de mi carrera científica debe haberle llenado de alegría y orgullo; ¡su hijo, su nombre, el niño que había enseñado y acariciado! ¡Padre mío! ¡Qué agradecido estoy de haberte podido dar algunas satisfacciones!

»Hasta la vista, querida Marie, hijos queridos. A menudo hablaremos del abuelo. ¡Qué contento estoy de que él os viera a todos de nuevo, hace poco tiempo, y de que viviera para conocer a la pequeña Camille! Echo de menos veros a todos, pero debo volver a Alais, pues mis estudios se retrasarían un año si no pudiera pasar ahora unos pocos días allí.»

En esta carta aparece la capacidad de sentir y la ternura de Pasteur; en ella, el amor familiar, la creencia religiosa y el sentimiento del deber se encuentran asociados estrechamente. Pero en el último párrafo se revela también otro aspecto dominante de su personalidad: la voluntad de trabajo y el instinto de crear, que no podían domeñar ni la tristeza ni los obstáculos. El había ignorado las dificultades materiales más agobiantes en su buhardilla de la Escuela Normal; ignoró también la enfermedad física cuando quedó parcialmente paralítico en 1868.

Tan pronto como comenzó a recuperar sus facultades, una semana después del ataque de parálisis, dictó una comunicación científica a su ayudante Gernetz, quien le cuidaba durante la noche. Al cabo de unas semanas, se dirigió de nuevo a Alais para reanudar sus estudios sobre las enfermedades del gusano de seda, a pesar de las dificultades del viaje, la falta de comodidad del hospedaje sureño, y contrariando el consejo de sus médicos. Pasteur era sobre todo un hombre de voluntad indomable. No era sólo a sus oponentes a los que quería sobrepasar; era también a la naturaleza, a él mismo. Era un aventurero y un conquistador, pero alguien cuyas metas estribaban en servir a un dios interno —el entusiasmo— del cual se originan todas las grandes acciones humanas. Confiaba en que los misterios de la vida y de la muerte le serían revelados al final de su viaje. Pero, aparte de este objetivo romántico, había aún tierras que merecía la pena descubrir y conquistar. Cuan-

Vista del Instituto Pasteur, en París. El Instituto fue creado a partir de una suscripción internacional para cumplir el deseo expresado por Pasteur de crear un centro destinado al estudio y administración de la vacuna antirrábica.

do inauguró en 1888 el nuevo Instituto de Investigación que iba a ser designado con su nombre, le dedicó las siguientes palabras:

«... Dos leyes contrarias parecen estar luchando hoy en día entre sí: la una es una ley de sangre y de muerte, siempre imaginando nuevos medios de destrucción y forzando a las naciones a estar siempre listas a lanzarse a los campos de batalla; la otra, una ley de paz, trabajo y salud, produciendo siempre nuevos medios para librar al hombre de los azotes que le asedian.»

Fue para servir a la paz, al trabajo y a la salud para lo que él trabajó, luchó y sufrío con tanta pasión.

El primer trabajo firmado de Pasteur data de 1847; el último, de 1892; así, durante casi medio siglo, el guerrero indomable estuvo ante el mundo científico trabajando incansablemente en la solución de problemas teóricos y prácticos; para 1885, era un hombre famoso, honrado por academias, atendido por príncipes y dirigentes democráticos, aclamado por especialistas. Pero fue el tratamiento antirrábico el que aseguró su lugar en el corazón de todos los hombres civilizados, el que hizo de él un héroe en la leyenda dorada de la ciencia. Poco tiempo después del tratamiento de Meister y Jupille se abrió una suscripción internacional para reunir fondos con los cuales crear en París un instituto dedicado al tratamiento de la rabia, y para promover la investigación microbiológica y bioquímica. De este edificio pudo decir Pasteur que «cada piedra es el signo material de un pensamiento generoso. Han cooperado todas las virtudes para levantar esta morada de trabajo».

Ceremonia en honor de Pasteur celebrada en la Sorbona en 1892.

Pasteur rodeado de sus colaboradores en el Instituto Pasteur, París.

El 27 de diciembre de 1892, con ocasión de su septuagésimo aniversario, tuvo lugar un solemne jubileo en el Aula Magna de la Sorbona, al que acudieron el presidente de la República Francesa y delegaciones de instituciones del saber, tanto francesas como extranjeras. Como señaló uno de los oradores oficiales, el héroe de aquel día no era simplemente un gran hombre de ciencia, sino uno que había dedicado todas sus fuerzas, su corazón y su genio al servicio de la humanidad.

«... ¿Quién puede decir cuánto le debe el hombre ahora y cuánto le deberá en el futuro? Llegará el día en que otro Lucrecio cantará en un nuevo poema de la Naturaleza al maestro inmortal, cuyo genio engendró tales beneficios.

»No le describirá como un hombre solitario e insensible, al igual que el héroe del poema latino, sino que lo mostrará mezclado con la vida de su tiempo, compartiendo las alegrías y las pruebas de su patria, dividiendo su existencia entre el áspero placer de la investigación científica y la dulce comunión de las relaciones familiares...»

Imposibilitado por la emoción para hablar, y obligado a mostrar su gratitud a través de la voz de su hijo, expresó Pasteur entonces, por última vez en público, que la ciencia traería algún día la felicidad del hombre.

«... Delegados de naciones extranjeras que han venido de tan lejos para darle a Francia una prueba de simpatía: ustedes me traen el más profundo regocijo que puede un hombre sentir, cuya creencia invencible es que la ciencia y la paz triunfarán sobre la ignorancia y la guerra; que las naciones se unirán, no para destruir, sino para construir, y que el futuro pertenecerá a aquellos que más hayan hecho por la humanidad doliente.»

Al dirigirse a los estudiantes, recordó la intensa satisfacción que obtuvo en sus años de asiduo trabajo, y expresó su confianza perenne en el poder del método experimental para mejorar la suerte del hombre en la tierra.

«Jóvenes, tened fe en esos métodos poderosos y seguros, de los cuales no conocemos aún todos los secretos. Y cualquiera que sea vuestra carrera, no os desanime la tristeza de algunas horas que pasan sobre las naciones. Vivid en la serena paz de las bibliotecas y de los laboratorios...»

Su fuerza desapareció. Entró al nuevo Instituto como un hombre enfermo y exhausto, destruido por el tiempo y por el trabajo constante. Le quedaban aún algunos años de vida. Para cualquier otro, podían haberle traído la felicidad de un descanso y reconocimiento bien merecidos, recompensa de una vida rica y productiva. Las ciencias microbiológicas, por las que tanto había hecho, estaban desarrollándose ante sus ojos. El gran Instituto que llevaba su nombre era una colmena activa de investigación y un centro internacional del saber; recibió honores de todos lados, y en sus días de descanso le rodeaba una familia feliz. ¡Pero qué vacía estaba su vida ahora que la creación científica no le estaba permitida! ¡Qué trágica la visión del aventurero, conquistador apasionado, armado ahora con los medios materiales que le habían faltado en el pasado, con su mente aún clara, sus sueños todavía vivos, pero con un cuerpo demasiado débil para empezar de nuevo en el sendero sin fin!

El día primero de noviembre de 1894 fue presa de un violento ataque de uremia del que sólo se recuperó parcialmente; al día siguiente al año nuevo pudo regocijarse en los laboratorios del Instituto Pasteur con una exhibición, especialmente preparada para él, de los frascos, cultivos y otras muestras, compañeros inseparables de sus célebres estudios. El bacilo de la difteria y el de la peste bubónica —aislados recientemente— estaban también en exhibición, como símbolos supremos de su propio trabajo. Su interés por la ciencia existía aún, así como su fervor patriótico. Cuando le preguntaron si aceptaría del emperador alemán la condecoración de la Orden del Mérito, rehusó. No había olvidado el año 1871. El viejo y fiero corazón todavía ardía.

El día 13 de junio abandonó París para pasar un período de recuperación en la casa del Instituto Pasteur en Villeneuve l'Etang, en el parque de Saint-Cloud. Durante unas pocas semanas pudo continuar sus sueños bajo los nobles árboles del parque, rodeado de su familia y de sus discípulos. Rápidamente, sin embargo, su parálisis y su debilidad aumentaron. El habla se hizo cada vez más penosa. Se ha señalado que el 27 de septiembre, cuando le ofrecieron un vaso de leche, rehusó di-

ciendo: «No puedo.» Esas fueron sus últimas palabras. Por primera vez, fue abatido; no por los obstáculos, no por la oposición, no por los hombres, sino por ese poder más grande que el hombre, la muerte, contra la que luchó con todo su genio y su corazón. Al día siguiente, el 28 de septiembre de 1895, al caer la tarde, murió; su cuerpo estaba casi paralizado por entero; tenía una de sus manos entre las de su esposa, y con la otra sujetaba un crucifijo.

La simplicidad monástica del cuarto en que murió es la expresión de la austeridad de su vida, y la capilla preciosamente adornada en la que se erigió el túmulo, un símbolo del lugar que ocupa en la memoria de los hombres.

3. Pasteur en acción

«El pintor o el dibujante debería vivir aislado, de modo que la comodidad física no dañara el florecimiento de su mente, especialmente cuando se ocupa de observaciones y consideraciones que siempre se ofrecen a su ojo y le proporcionan material para ser atesorado por la memoria. Si estás solo, perteneces totalmente a ti mismo; si estás acompañado, aunque sólo sea por un compañero, sólo perteneces la mitad a ti mismo; y si estás con varios de ellos, estarás aún más atenido a esos inconvenientes.»—LEONARDO DA VINCI

Al hablar en la ceremonia del descubrimiento de la estatua de Jean Baptiste Dumas en 1889, Pasteur describió la vida tan rica de su venerado maestro, contrastándola con la de otros hombres de ciencia que se mantienen alejados de las responsabilidades sociales de sus actividades:

«Entre los hombres superiores, hay algunos que, aislándose en sus estudios, sólo tienen para el tumulto público de las ideas desdén, compasión y una condescendencia indulgente. Despreocupados de la opinión pública en general, están interesados en ejercer una influencia directa solamente en círculos reducidos y selectos. Cuando les falla este grupo reducido y selecto, encuentran en el espectáculo de su propia inteligencia un placer intenso y duradero...

»Hay unos pocos hombres que se encuentran igualmente cómodos en el trabajo silencioso y en los debates de las grandes asambleas. Por encima, y más allá, de sus investigaciones personales, las cuales les aseguran un lugar especial en la posteridad, mantienen atentas sus mentes a todas las ideas generales y abiertos sus corazones a sentimientos generosos. Estos hombres son los guías y los protectores de las naciones.

»Aún hay otros, finalmente, que, llevados por su anhelo de ver triunfar sus ideales, se arrojan a la lucha de la vida pública.»

Pasteur pensó en sí mismo, probablemente, al pronunciar estas palabras. Había trabajado en el silencio y en la soledad de bibliotecas y laboratorios, pero también había compartido los problemas prácticos de su tiempo en los talleres y en los campos, luchando siempre que era necesario, en las tribunas de las academias, en las revistas especializadas y ante el público en general. Al igual que Dumas, había sido un gran científico, un gran maestro, pero también un hombre de acción efectiva y un gran organizador. Sin embargo, la diferencia entre él y la mayoría de los científicos que abandonan la mesa del laboratorio cuando son llama-

Pasteur en su laboratorio.

dos a desempeñar urgentes responsabilidades administrativas es que no pasó en forma sucesiva a través de esas diferentes fases; las vivió todas a un mismo tiempo. Unicamente él, con sus manos, podía llevar un problema desde el nivel del concepto abstracto, a través de la disciplina rígida del método experimental, hasta el barullo y confusión de la vida práctica. El todo de la ciencia era su campo: sus sueños, disciplinas, controversias, luchas, triunfos y realizaciones prácticas. La casa y el mercado, así como laboratorios y academias, le vieron trabajar en todas las manifestaciones del camino científico de la vida. Este fue tal vez el aspecto más característico de su genio.

Durante muchos años trabajó solo. Cuando, más tarde, se unieron a él hombres jóvenes, éstos participaron en la ejecución de su trabajo, pero raramente contribuyeron al desarrollo de sus ideas. A menudo dejó a sus ayudantes en la más completa ignorancia de la estrategia de sus investigaciones, revelándoles sólo la parte necesaria del trabajo diario. «Nos mantuvo en un lugar remoto de sus ideas», dijo Duclaux, su alumno y asociado más íntimo, quien también se refirió al «silencio olímpico de que gustaba verse rodeado hasta el día en que su trabajo le parecía maduro para darlo a la publicidad. No decía una palabra acerca de él, aun en el laboratorio en donde sus ayudantes veían sólo el exterior y el esqueleto de sus experimentos, sin percibir la vida que los animaba. Muy brevemente, sin explicaciones innecesarias, Pasteur solía indicar a cada uno su tarea, y lo enviaba luego a vigilar sus observaciones».

Loir, quien fue ayudante técnico de Pasteur desde 1884 hasta 1888, ha confirmado el relato de Duclaux: «Deseaba estar solo en su laboratorio, y nunca hablaba de la meta que tenía en la mente. Reflexionando sobre sus libros de notas, escribía en pequeñas tarjetas experimentos que quería se hicieran y luego, sin ninguna explicación, pedía a sus ayudantes... que los realizaran.»

Aun durante los períodos de mayor actividad, contó con muy pocos ayudantes; cada uno tenía su cuarto, o su rincón en el laboratorio principal, en donde trabajaba en silencio sin perturbar al maestro, con excepción de cuando era llamado para tomar parte en cualquier discusión. Cuando Bertin fue nombrado director de ciencias en la Escuela Normal, urgió a Pasteur para que estudiara los efectos de los agentes físicos sobre la actividad de los microorganismos. Pasteur pareció interesarse, y Bertin nombró al joven físico Jouvert como ayudante. Pronto, sin embargo, Jouvert tuvo que manejar una jeringa de Pravaz, para ayudar en el trabajo de laboratorio. Como esto se encontraba fuera de su interés, abandonó el puesto para ser reemplazado por otros físicos jóvenes, también presentados por Bertin. Vinieron varios que pronto se fueron, desalentados por el poco interés que Pasteur demostraba en su presencia. Para Pasteur, la elección de un colaborador era cuestión de poco interés, en realidad algo muy secundario. Tenía que haber uno, ya que el puesto estaba asignado; pero quienquiera que fuese, importaba poco, mientras hiciera fielmente y en silencio el trabajo que se le pedía.

Las meditaciones de Pasteur sólo podían desarrollarse en silencio, y la presencia de cualquier visitante extraño a sus ocupaciones era su-

ficiente para perturbarle; solamente las personas enfrascadas en sus problemas eran bien venidas a su laboratorio. Una vez fue a visitar a Wurtz en la Escuela de Medicina, y encontró al químico trabajando entre sus discípulos, en una habitación llena de actividad, semejante a una colmena. «¿Cómo puede usted —exclamó Pasteur— trabajar entre tanta agitación?» «Excita mis ideas», contestó Wurtz. «Echaría las mías a volar», replicó Pasteur.

El laboratorio estaba abierto a muy pocas personas, y sólo se podía entrar tocando el timbre de la puerta principal. Cuando estaba trabajando, Pasteur no era cordial ni con sus propios amigos; interrumpirle era hacerle desgraciado. «Puedo verlo todavía —escribió Roux— volviéndose hacia el intruso, agitando su mano como para despedirlo, diciendo en un tono desesperado: "No, ahora no, estoy demasiado ocupado." Y, sin embargo, era uno de los hombres más sencillos y hospitalarios; pero no podía comprender cómo alguien se atrevía a molestar a un hombre de ciencia que está trabajando en sus notas. Cuando Chamberland y yo estábamos en el curso de un experimento interesante, nos vigilaba, y mirando desde lejos, a través de la ventana, hacia nuestros amigos que venían a llevarnos con ellos, salía a encontrarlos a la puerta y los despedía.»

No le gustaba recibir médicos en su laboratorio, aun en el período en que estuvo dedicado a la investigación médica. Pensaba que sus exigencias eran demasiado variadas para permitirles enfocar la atención sobre problemas específicos y obtener la concentración esencial para el trabajo de investigación. Se enfadaba también por la costumbre existente en los círculos médicos de aquel tiempo, consistente en discutir cualquier cuestión en un lenguaje florido y elocuente, en lugar de expresar simplemente los hechos de la ciencia experimental. Además, «los médicos se inclinan a admitir generalizaciones muy rápidamente. Poseyendo una distinción natural adquirida, dotados de una viva inteligencia, una conversación elegante y fácil... cuanto más eminentes son... menos tiempo tienen para el trabajo de investigación... Ansiosos de conocimiento... se encuentran propensos a aceptar demasiado fácilmente teorías atractivas, pero insuficientemente probadas».

Los médicos pueden interpretar la frase anterior como una manifestación de complejo de inferioridad, por parte de un químico, hacia el arte de la medicina. En realidad, expresa sólo la tradicional enemistad entre investigadores y prácticos profesionales. Claude Bernard, aunque educado en la Escuela de Medicina de París, durante el período de su mayor gloria química compartía la irritación de Pasteur hacia sus colegas médicos. «¿Han notado ustedes —decía— cómo los médicos, cuando entran en una habitación, siempre van rodeados de un aura que parece indicar: "Miradme, acabo de salvar otra vida?"» Esto ocurría hacia la mitad del siglo XIX. Hoy, Pasteur y Bernard podrían encontrar material para demostrar su desdén hacia el hombre de ciencia que, olvidando la larga historia del mundo anterior a sus esfuerzos, mantiene la ilusión de que su último experimento abrirá una nueva era en el pensamiento.

A Pasteur no le agradaba que el bullicio de la vida médica alterara la paz de su laboratorio. Había dispuesto que el aspecto clínico de su trabajo sobre la rabia, dirigido por el doctor Grancher, se llevara a cabo en el anexo situado algunas calles más allá de la Escuela Normal, y le preocupó que el interés de los visitantes médicos no introdujera confusión en la atmósfera disciplinada y de meditación de su santuario. Se perturbó en extremo al saber por Loir que el laboratorio de Grancher tenía dos magníficas butacas, una de ellas mecedora. «Pasteur no podía comprender cómo se podía sentir la necesidad de comodidades físicas en un laboratorio. Aquello confirmó su convicción de que debía mantener sus habitaciones personales cerradas a la gente que mantenía tales ideas.» Aun el fumar era una libertad mal recibida, que podía perdonarse en los ayudantes de Pasteur cuando él estaba lejos.

El silencio era especialmente imperativo mientras el maestro formulaba la fase siguiente de su experimento: su «hipótesis de trabajo». Por espacio de varios días se absorbía en sí mismo en el estudio de sus libros de notas, permaneciendo aislado de todo el mundo y de todas las cosas, ignorando la presencia de sus colaboradores y aun sin levantar la cabeza en el curso de muchas horas. De esta forma podía recoger de su experiencia pasada el inmenso cúmulo de observaciones y pensamientos imaginarios, registrados en páginas nítidamente llenas de pequeña escritura. De allí emergerían aquellos fragmentos que, atraídos y mantenidos como en un campo magnético por la fuerza de su pensamiento, se organizarían en nuevas e inesperadas formas.

Cuando terminaba el estudio de sus notas, una nueva fase se ponía en marcha. Ahora preparaba el terreno de prueba para su siguiente aventura científica: la «hipótesis de trabajo», de la cual nacería el proyecto para el experimento siguiente. Durante esa etapa, paseaba horas y horas sin hablar, y aún continuaría sus silenciosos monólogos en casa, caminando de una habitación a otra. Estas meditaciones solitarias duraban varios días. En ese tiempo, estaba tan absorto en sus pensamientos que no advertía la presencia de las personas que se hallaban a su alrededor. Duclaux tuvo a menudo que esperar largas horas antes de que le preguntara el objeto de su visita. Cualquier persona que trajera algún asunto urgente se encontraba con que era necesario insistir, a fin de obligarle a prestar atención. Entonces reaccionaba como si despertara de un sueño, pero nunca demostraba impaciencia; se dirigía lentamente hacia el que le había interrumpido, pasándose la mano sobre el rostro varias veces, en un gesto familiar.

Y cuando sus ideas habían tomado forma, volvía a establecer contacto con sus colaboradores, hablándoles lo indispensable acerca de sus sueños, metas y proyectos para elaborar los detalles técnicos de los experimentos. Las pruebas preliminares eran pocas en número, pero se llevaban a cabo con cuidado extremo para determinar si la hipótesis tenía base verdadera. Si los resultados eran negativos, las ideas incipientes eran rechazadas de inmediato de su mente y era inútil llamar su atención sobre ellas; ocurría que ni él mismo las recordaba. Si, por el contrario, los resultados positivos sugerían que la hipótesis podría ser váli-

da, los experimentos se multiplicaban incansablemente para explorar y desarrollar sus posibilidades.

Los experimentos los llevaba a cabo, por lo general, tan pronto como habían sido discutidos y preparados suficientemente. A este rápido paso de la concepción a la ejecución se debe, en parte, la fenomenal producción científica de Pasteur. Nunca se desalentó por los obstáculos, cualidad a la que se refería como su mayor don. «Déjeme decirle el secreto que me ha llevado a la meta. Mi única fuerza reside en mi tenacidad.» Juicio que ha sido confirmado por Roux: «¡Cuántas veces, ante la presencia de dificultades imprevistas, cuando nosotros no imaginábamos cómo saldríamos de ellas, he oído a Pasteur decirnos: "Hagamos el mismo experimento otra vez; lo esencial es no abandonar el asunto!".»

La incansable repetición de los hallazgos de Pasteur —ya sea durante el período en que trabajó solo o después de la parálisis, que le obligó a delegar en otros la ejecución de sus experimentos— es prueba evidente de la precisión de su trabajo. El no estaba, sin embargo, demasiado interesado en determinadas técnicas de laboratorio, sino que utilizaba solamente aquellas que se adaptaban en forma debida para responder a sus problemas, para fundamentar la verdad de sus hipótesis y para permitirle la elaboración de procedimientos efectivos y seguros. Además de todo esto, el resultado debía ser inequívoco, porque él deseaba estar capacitado «siempre y dondequiera para dar la justificación de los principios y la demostración de sus descubrimientos».

La mayor parte de sus experimentos eran sencillos en cuanto al proyecto y ejecución, pero todos los detalles se llevaban a cabo y eran observados y registrados con la más escrupulosa exactitud. El cuidado devoto con que preparaba y manejaba los cristales de sustancias orgánicas para hacer los estudios sobre la estructura molecular llega a impresionar cuando se piensa en que todas las medidas de los ángulos de las facetas de los cristales y de la desviación de la actividad óptica se realizaron con instrumentos caseros. El aislamiento, cambio y desarrollo de los cultivos microbianos tuvieron que hacerse sin la ayuda del equipo bacteriológico; no había autoclaves, el uso de las placas de gelatina y agar no se había introducido aún; se había improvisado una estufa en un rincón de la escalera. Aun cuando muchas de las conclusiones de Pasteur descansaron sobre los estudios microscópicos, utilizó, para familiarizarse con el mundo microbiano, las técnicas y el equipo más sencillos. Todos los cultivos se examinaron en forma directa en vivo hasta 1884, cuando fueron introducidos en su laboratorio los métodos de tinción e inmersión en aceite, desde Alemania. A pesar de esto, con sus medios primitivos de observación y sin entrenamiento previo en microscopia biológica, Pasteur encontró nuevas especies de microorganismos, diferenciándolos por sus estados fisiológicos, y pudo diagnosticar las enfermedades del vinagre, el vino y la cerveza, así como las del hombre y las de los animales, con una exactitud poco usual en aquella época.

Cuando en 1868 el ataque de parálisis le privó de hacer uso de su mano izquierda, tuvo que depender de sus ayudantes para la ejecución de la mayor parte de sus experimentos. Siendo él mismo un trabajador

magistral en el laboratorio, era exigente con los demás. Cuando oía que sus ayudantes indicaban que cierto experimento presentaba dificultades, decía: «Es su obligación; soluciónelas en la forma que guste, pero siempre y cuando lo haga bien.» La descripción dejada por Loir muestra con qué cuidado supervisaba Pasteur las fases técnicas de su trabajo:

«Cuando llegaba el tiempo de cambiar los cultivos, Pasteur y yo íbamos a la estufa con una pequeña vasija para transportar los frascos. Se llevaban a un cuarto pequeño especial, que jamás se abría en ninguna otra ocasión, y se mantenían allí durante dos horas, para permitir que alcanzaran, sin alteración, la temperatura del cuarto. Después de que transcurría ese tiempo, volvíamos a él, todavía sin hablar y con los menores movimientos posibles. Me sentaba al lado de la mesa y Pasteur en una silla, detrás de mí, inclinado hacia un lado, como a dos pies a mi espalda, en forma tal que pudiera ver todo lo que yo hacía. Sobre la mesa estaba colocada una cesta de alambre que contenía pipetas largas, selladas, estériles. Tomaba una, rompía su extremo y la flameaba... antes de usarla para la inoculación. El asa de hilo de platino no se comenzó a usar en el laboratorio hasta 1886.»

Al igual que la ejecución del experimento, la observación de los resultados era un ritual del cual no se podía menospreciar ningún detalle. «Se necesita haber visto a Pasteur con su microscopio —decía Roux— para formarse una idea de la paciencia con que examinaba una preparación. De hecho, miraba todo con el mismo minucioso cuidado. Nada escapaba a su ojo miope; y, en broma, solíamos decir que podía ver crecer los microbios en su caldo.»

Dedicaba también largas horas de observación, en silencio, a los animales infectados, al medio en que vivían y a su comportamiento. Se colocaba en un rincón del sótano (donde se guardaban los animales) con una tarjeta en la mano, vigilando por horas los movimientos y actitudes de un pollo infectado. Si, por casualidad, alguien bajaba sin saber que el maestro estaba allí, él le indicaba que permaneciera en silencio, y continuaba sus observaciones.

Luego, de vuelta a su pequeño escritorio, anotaba todo lo que había observado. Exigía de sus colaboradores una cuenta exacta de su propia fase de trabajo, pidiendo los detalles más minuciosos; insistía en escribir él mismo toda la información posible, como si tratara de hacer más completa la suya propia —parte de su carne y espíritu—, todo lo concerniente al trabajo. «No dejaba a nadie la responsabilidad de conservar al día el libro de notas del laboratorio. El mismo tomaba la información que le dábamos, con todo detalle. Innumerables páginas cubrió así, con una escritura pequeña, regular y apretada, con dibujos en los márgenes, notas al pie y a los lados, todo ello complicado y difícil de leer para todo aquel que no estuviera acostumbrado, y, sin embargo, conservando todo ello con un extraordinario cuidado. Nada se escribía que no estuviese perfectamente observado; pero una vez que estaba escrito, se convertía para Pasteur en una verdad incontestable. Cuando, durante una discusión, echaba mano del argumento "está en el libro de notas", ninguno se atrevía a seguir discutiendo el problema.

»Una vez que se tomaban las notas, discutíamos los experimentos que iban a realizarse, Pasteur de pie, cerca de su mesa, listo para escribir lo que acordáramos; Chamberland y yo frente a él, apoyados contra una vitrina. Este era el momento importante del día. Cada cual daba sus opiniones, y, a menudo, una idea al principio confusa se aclaraba por la discusión y conducía a uno de aquellos experimentos que disipaban todas las dudas. En ocasiones, no estábamos de acuerdo y llegábamos a levantar las voces. Pero aunque Pasteur era considerado testarudo, uno podía expresarle su opinión propia. Nunca le vi que se resistiera a una idea razonable.

»Un poco antes del mediodía, alguien llamaba a Pasteur para el almuerzo; a las dos y media regresaba al laboratorio y, por lo general, le encontrábamos atento, cerca de una jaula, observando un cobayo o un conejo. Alrededor de las dos de la tarde, madame Pasteur le enviaba a buscar, ya que de otra forma se olvidaba de las reuniones de las academias y de los comités de los cuales era miembro... Regresaba alrededor de las cinco de la tarde, deseando se le informara inmediatamente de lo que se había hecho; apuntaba las notas acerca de ello y confirmaba las etiquetas de los experimentos. Después hablaba acerca de los trabajos más importantes que había oído en la Academia, y discutía su posible realización.»

Fue esta dedicación extrema a todos los detalles de su trabajo, a este conocimiento tan completo y a su maestría en todos los hechos relacionados con sus experimentos lo que dio a Pasteur confianza absoluta en sus propios resultados y le aseguró su repetición en todos los casos. Debido a esta confianza, nunca dudó en desafiar a sus oponentes ante las comisiones académicas, ya que sabía que podía obtener siempre los mismos resultados. También, debido a esto, aceptó los términos increíblemente arriesgados de la prueba pública sobre la vacunación contra el carbunco de los carneros —«lo que ocurrió con catorce carneros en el laboratorio, sucederá con cincuenta en Melun». Y así ocurrió, no solamente en Melun sino en donde se siguieron a la letra sus detalladas instrucciones; no únicamente en el caso de la vacunación contra el carbunco, sino también en todos los casos en los cuales los investigadores tuvieron suficiente energía, paciencia y cuidado para respetar en todos sus detalles las instrucciones salidas de sus libros de notas infalibles.

La investigación sobre fermentaciones llevó a Pasteur al contacto con el mundo industrial y pronto desarrolló un profundo conocimiento acerca del poder del método científico para aumentar la efectividad de las operaciones técnicas. No compartía la creencia común de que la ciencia pura y la ciencia aplicada correspondían a dos formas independientes de la actividad intelectual, demandando diferentes dotes para aquellos dedicados a cada una de ellas. Creía que un entrenamiento adecuado dentro de las disciplinas teóricas era la preparación debida para la tarea de dar a los cerebros científicos aplicaciones prácticas, y expresó estos puntos de vista en muchas ocasiones; por ejemplo, en una carta escrita en 1863 discutiendo la organización de la enseñanza profesional:

Pasteur en su laboratorio, según un dibujo tomado del natural.

«No hay ciencias aplicadas... Sólo hay... las aplicaciones de la ciencia, y ésta es una cuestión muy diferente...

»... Debemos colocar la confianza profesional en las manos de profesores entrenados también en la teoría de la ciencia pura cuando sea posible, pero a los que pediremos además que muestren interés en las aplicaciones de la ciencia. ¿Es posible conseguir rápidamente profesores con estas características sin recurrir a cambios demasiado costosos?

»... En verdad que sí, porque el estudio de las aplicaciones de la ciencia resulta fácil para cualquiera que domine su teoría...»

Los estudios sobre la cerveza, comenzados en una cervecería cerca de Clermont-Ferrand, después de la guerra franco-prusiana, fueron continuados en París. Allí se estableció una planta piloto en el laboratorio de la rue d'Ulm. Se desarrollaban estudios químicos en una gran sala del sótano, mientras calderas y tanques de fermentación llenaban la planta baja. La atmósfera austera del laboratorio se suavizó durante algún tiempo con el aroma de la cebada y el lúpulo fermentado, mientras que en los días de degustación el tintineo de los vasos y la risa de Bertin

(quien actuaba como un catador experto de cerveza) disipaban la atmósfera de silencio del santuario.

Gran parte del trabajo sobre el vinagre y el vino se llevó a cabo en Orleans y en Arbois, en contacto directo con los productores. El desarrollo técnico de la pasteurización exigía muchas consultas con ellos, para cerciorarse de que el grado de calentamiento no estropeaba el sabor del producto, y con ingenieros, quienes trataban los aspectos prácticos. Las publicaciones de Pasteur sobre este asunto ofrecen especificaciones detalladas con dibujos del equipo para llevar a cabo la pasteurización en una escala industrial. No menospreció considerar el costo de operación y discutir otros aspectos económicos para la conservación, mediante el calor, de alimentos y bebidas.

Con el fin de estudiar las enfermedades del gusano de seda, Pasteur se entrenó a sí mismo, a sus ayudantes y a su propia familia, en las operaciones prácticas referentes a la producción de seda. No se conformó con establecer solamente la validez científica de la selección de huevos, sino que deseó también probar que era prácticamente factible y económicamente beneficiosa. Durante varios meses cada año, entre 1866 y 1870, se comportó como si fuera el director de una empresa comercial, y envió a sus ayudantes por todo el sur de Francia a enseñar su método a los criadores de gusano de seda.

La vacunación contra el carbunco y la erisipela del cerdo le trajo responsabilidades semejantes a las del control de las enfermedades del gusano de seda. Para cubrir el costo de la experimentación con animales de granja fue necesario reunir el interés y la ayuda de organizaciones gubernativas y de las sociedades agrícolas. Trasladó el laboratorio a una granja, o a lugares de pasto, cuando el problema necesitaba estudios en el campo. Por primera vez, la investigación bacteriológica se llevaba en gran escala como parte de la economía nacional. La producción y la distribución comercial de la vacuna fue encargada a Chamberland, quien estableció un anexo del laboratorio de Pasteur en la rue Vauquelin, cerca de la Escuela Normal. No era fácil convencer a los escépticos de que la vacunación era una operación benéfica, porque entrañaba el riesgo de la muerte de los animales después de la inoculación de la vacuna atenuada. Pasteur propuso la organización de una compañía de seguros para proteger a los ganaderos contra las pérdidas inevitables, y así superar su reticencia.

Después de 1875, la cervecería experimental del sótano del laboratorio se desmanteló para reemplazarla por una pequeña casa de animales y hospital, destinados al estudio de las enfermedades contagiosas. Con la iniciación del problema sobre la rabia, se hicieron necesarios locales para animales grandes, cosa nada fácil de obtener, ya que en todas partes el público temblaba ante la idea de tener perros rabiosos albergados en la vecindad de sus viviendas. Finalmente, sin embargo, se establecieron grandes perreras en Garches, una propiedad del Estado aledaña al parque Saint-Cloud.

El resultado satisfactorio del tratamiento de Meister y Jupille trajo una súbita demanda para la inmunización de personas mordidas por ani-

males rabiosos. La preparación de la vacuna contra la rabia, el tratamiento de los enfermos, el recabar y analizar la evidencia estadística, todo se encontraba bajo la supervisión personal de Pasteur. Tuvieron que improvisar ciertos arreglos provisionales para mantener gran número de conejos y para disecar la médula espinal infectada de algunos de esos animales que se usaban en la preparación de la vacuna. La administración médica del nuevo tratamiento, del cual no existía precedente, obligó a tomar decisioneas difíciles. El alojamiento de enfermos llegados de todas partes del mundo, a menudo sin medios económicos adecuados, presentó problemas inesperados que fueron resueltos mediante medidas de emergencia.

«Muchos —escribió Duclaux— han descrito el extraño espectáculo que ofrecían el laboratorio y el solar cercano, donde se reunía una multitud pintoresca y políglota de individuos que habían sido mordidos y que venían a pedir a la ciencia el fin de sus temores y la esperanza para el mañana. Pero lo que no ha sido suficientemente subrayado es la contagiosa confianza que se extendía entre los recién llegados, y hacía de ellos creyentes cuya fe contribuía a su recuperación. El laboratorio y la sala de consultas pronto resultaron demasiado pequeños. Tuvimos que abandonar la acogedora rue d'Ulm para establecernos en locales más grandes, prestados, del antiguo Colegio Rollin. Mientras estuvimos acampados allí, se abrió la suscripción internacional que dio como resultado la creación del Instituto Pasteur.»

El Instituto se organizó para proporcionar mayores facilidades en el tratamiento de la rabia y en la investigación de las ciencias microbiológicas, bioquímicas y fisiológicas. El sueño de Pasteur de poseer grandes laboratorios de investigación, con medios adecuados para el trabajo, se había hecho realidad, pero cuando penetró en el magnífico Instituto, sus fuerzas le fallaron: era «un hombre vencido por el tiempo». Sin embargo, continuó rondando sus laboratorios, siguiendo con ansiedad el trabajo de sus discípulos. Era el símbolo de los grandes creadores que, a pesar de la pobreza y a costa de sacrificios y sufrimientos, establecen los cimientos de la ciencia que luego hombres menos dotados pueden continuar, construyendo lentamente sobre la gran estructura levantada gracias a las luchas del genio.

Los estudios teóricos en el laboratorio y las pruebas prácticas en el campo no fueron suficientes para satisfacer el anhelo de Pasteur de demostrar la validez de sus convicciones. El reconocía tres pasos en el establecimiento de la evidencia: «Primero, tratar de convencerse uno mismo; segundo, convencer a los demás...; tercero, probablemente el menos útil, pero muy divertido, consiste en convencer a nuestros adversarios.» Como luchador vigoroso, obtenía gran satisfacción al convencer a sus oponentes. Debido a que creía en la importancia de su trabajo, estaba ansioso de que fuese conocido y aceptado en todas partes, y a menudo mostraba impaciencia esperando el juicio del tiempo.

Sus descubrimientos y observaciones eran rápidamente comunicados a través de pequeñas notas enviadas a las sociedades científicas y en cartas â sus maestros y colegas. Además, enviaba sus mensajes al

mundo en forma de conferencias pulidas cuidadosamente, dictadas ante las academias científicas, así como ante auditorios técnicos y populares. En un lenguaje limpio, vigoroso y en ocasiones elocuente, resumió en estas ocasiones sus estudios experimentales y también sus consecuencias filosóficas y prácticas.

Escribió largas y detalladas cartas para aclarar ante la opinión pública cuestiones que consideraba importantes para defender su trabajo y sus puntos de vista, así como para ilustrar a los que le seguían y a sus oponentes, en los principios teóricos y procedimientos técnicos. Estas cartas se dirigían a individuos y a la prensa, y a menudo eligió este medio para publicar las aplicaciones de sus descubrimientos.

Por ejemplo, comunicó a un periódico comercial la forma en que convenció al alcalde de Volnay, M. Boillot, de la efectividad del calor controlado como medio para conservar los vinos:

«Ruego a la Sociedad me permita publicar mi entrevista... en forma de diálogo. Las enseñanzas que se derivan de esta conversación alcanzarán así más efectivamente a aquellos que deseen beneficiarse de ellas...

»*Pasteur.*—¿Calienta usted sus vinos, señor alcalde?

»*M. Boillot.*—No, señor; se me ha dicho que calentarlos afectaría poco favorablemente su sabor.

»*Pasteur.*—Sí, ya sé. De hecho, se ha dicho que calentar esos vinos equivale a una amputación. ¿Sería tan bondadoso, señor alcalde, de acompañarme a mi bodega experimental?... Aquí están hileras de botellas de sus mejores cosechas, que he calentado, y allá botellas de las mismas cosechas, sin calentar. Los experimentos comparativos datan de 1866, hace más de siete años.

»(A lo largo de dos páginas, Pasteur describe con todo detalle cómo el alcalde, después de haber gustado del vino calentado y del sin calentar, tuvo que reconocer la calidad superior en que se había conservado el primero, aun tratándose de productos de sus propias cosechas.)

»*M. Boillot.*—Estoy abrumado. Tengo la impresión de verle a usted derramar oro sobre nuestro país.

»*Pasteur.*—Ahí tiene usted, querido paisano; ocupado en la política, en las elecciones, en la lectura superficial de los periódicos, pero descuidando leer libros serios que se refieren a materias importantes para el bienestar del país, en realidad sus propios intereses. Supongo que usted piensa que esos libros exigen mucho esfuerzo para ser comprendidos. Hay que atender el sabio aviso de los que trabajan en su beneficio, a menudo a costa de sacrificios de su propia salud.

»*M. Boillot.*—No se engaña usted, señor. He leído en las memorias de la Academia que su proceso conserva y mejora nuestros vinos, pero también he leído en la página siguiente la afirmación de algunos de sus colegas de que el calentamiento puede estropear el aroma. ¿Cómo puede usted pensar que nosotros, pobres cosecheros, lleguemos a una decisión?

»*Pasteur.*—Usted está revelando uno de los malos rasgos de nuestro carácter nacional... Nuestra primera inclinación es dudar del éxito de los demás. Y, sin embargo, señor alcalde, si usted hubiera leído con

atención, podía haber visto que todo lo que dije estaba basado en hechos precisos, en comunicaciones oficiales, en degustaciones por los peritos más competentes, mientras que mis oponentes nada tienen que ofrecer, salvo aseveraciones sin prueba.

»*M. Boillot.*—No se preocupe, señor. De hoy en adelante no creeré ya en aquellos que le contradicen, y me preocuparé del problema del calentamiento de los vinos tan pronto como regrese a Volnay.»

Aún más peculiar en Pasteur eran las controversias apasionadas y famosas que —debido a su vitalidad, su convicción y su genio— dieron un sabor pintoresco y a menudo dramático a la edad heroica de la microbiología. En los siguientes capítulos estudiaremos detalladamente los problemas de interés teórico; con Liebig, sobre la teoría microbiana de la fermentación; con Pouchet y Bastian, sobre la generación espontánea; con Claude Bernard y Berthelot, sobre el mecanismo íntimo de la fermentación alcohólica; con Colin, sobre el ántrax de los pollos; con Koch, sobre la eficacia de la vacuna en el ántrax; con Peter, sobre el tratamiento de la rabia. Hubo también conflictos referentes a derechos de prioridad, y otros motivados simplemente por el choque de dos personalidades incompatibles. Cualquiera que fuera la causa de la discusión, científica o personal, Pasteur trataba con la misma pasión a las personas que pensaba no poseían la verdad que a aquellas que tenían prejuicios en su contra.

Siendo joven, comunicó sus sentimientos a los miembros de su familia. Así, con ocasión de su primera derrota para ser elegido a la Academia de Ciencias de París, escribió a su esposa sobre el desprecio que sentía por las «mediocridades que gobernaban la elección», esperando el día en que él pudiera «leer ante ellos un buen trabajo mientras pensaba: *Necios, intenten hacerlo así de bien*... Me refiero ahora al tonto de... y de... y otras tantas nulidades que han llegado allí sólo porque no había otro, o por pura suerte».

En 1862, cuando fue presentado su nombre por tercera vez a la Academia, ciertos grupos intentaron reducir la importancia de sus estudios sobre los ácidos tartáricos. La situación era crítica debido a que la votación se esperaba reñida. El relato de Duclaux acerca de la reacción inmediata de Pasteur permitirá presentar este «espíritu combativo que constituye una de las facetas, no de las menos singulares, de su temperamento científico».

«Aquella tarde iba a celebrarse una reunión de la Société Philomathique en la que era probable estuvieran presentes muchos científicos importantes... Se me envió a ver a un ebanista y regresé con tornillos, escofinas y un gran pedazo de madera de pino. Hacía diez años que M. Pasteur había estudiado el problema de los tartratos, pero conservaba aún sus formas cristalinas en la punta de los dedos. Unos pocos golpes de sierra, manejada por él con una seguridad maravillosa, fueron suficientes para transformar la madera en una serie de formas cristalinas con sus planos y facetas, que se hicieron fácilmente identificables al ser cubiertas con papel de diferentes colores.

»Su exposición comenzó como una lección..., pero, al final, M. Pas-

teur desafió a sus contrincantes a que confesaran su ignorancia o su mala fe... diciéndoles, en esencia: "¿Si comprendieron ustedes el problema, dónde está su conciencia? ¿Y si no lo comprendieron, cómo se atreven a hablar de ello?" Desde entonces, M. Pasteur ha ganado muchas victorias oratorias, pero no conozco ninguna más merecida que la obtenida mediante esta aguda improvisación. Aún estaba en ebullición cuando caminábamos hacia la rue d'Ulm y recuerdo que le hice reír al preguntarle por qué... no había arrojado sus cristales de madera a las cabezas de sus oponentes.»

Pasteur, a medida que transcurría el tiempo, se hizo cada vez más inflamable. No satisfecho con desafiar a sus opositores a que desaprobaran sus afirmaciones, amontonó el desprecio sobre su ignorancia, su falta de habilidad experimental, su torpeza y hasta su falta de sinceridad. Desde su mesa en la Academia de Medicina señaló a los clínicos lo vacío de sus debates, la falta de seguridad de sus premisas y conclusiones, y contrapuso la vaguedad del arte clínico a la certidumbre de las nuevas ciencias fisiológicas y microbiológicas. En frases que revelan una arrogancia irritante, bajo la apariencia externa de humildad, dio conferencias a los médicos sobre la teoría microbiana de la fermentación; su aplicación a la putrefacción, a la gangrena y a las enfermedades contagiosas, y sobre los «pródigos campos del futuro que se ofrecían a la medicina». Le dijo al hablador y fácil clínico Poggiale, su colega en la Academia de Medicina: «Le niego el derecho a confirmar, preguntar o interpretar mis descubrimientos... a cualquiera que le satisface leer mis estudios de una manera superficial, apoyados los pies cerca de la chimenea...» A aquellos que, como Colin, confundieron o aplicaron mal los principios del método experimental, les indicó despreciativamente que un solo hecho positivo valía más que cien experimentos negativos.

«M. Colin —dijo en la Academia— mira dentro de noventa y ocho alacenas oscuras y concluye de esto que no está brillando la luz fuera de ellas.» E insistió: «Sólo hay un camino que conduce a la verdad, y cien que conducen al error; M. Colin siempre toma uno de estos últimos.»

Cuando desesperaba de convencer a sus colegas de la Academia, se dirigía a los jóvenes médicos estudiantes que asistían a la reunión:

«Jóvenes que... son tal vez el futuro médico de nuestro país, no vengan aquí a entretenerse con el incentivo de las polémicas, sino a aprender los métodos; sepan que denuncio como ejemplo de los métodos más detestables el razonamiento que conduce a M. Colin a la conclusión, que parte de una observación negativa, de que existe en el material de inoculación del ántrax un factor virulento diferente de las bacterias...

»Yo denuncio como un razonamiento digno de una comedia de Molière, del Molière ridiculizando el espíritu médico de su tiempo, el siguiente párrafo de una de las respuestas de M. Colin: "No sé exactamente qué son las bacterias del ántrax. No es absolutamente seguro que sean seres vivos... ¿Resulta imposible que tengan el mismo origen que las estructuras anatómicas...?".»

Irritado por la tendencia de sus colegas a confiarse más en la elo-

cuencia que en la exacta exposición de los hechos, se atrevió a dar conferencias en la Academia de Medicina sobre la forma adecuada de desarrollar los debates científicos.

«Ustedes me preguntarán cómo puede introducir la Academia... el verdadero espíritu científico en sus trabajos y discusiones. Permítanme que les dé un método que no será una panacea, pero que ciertamente sería útil. Deberíamos decidirnos a no llamar a esta mesa una tribuna, o a una comunicación presentada, un discurso, o al que está hablando calificarle de orador. Dejemos estas denominaciones para las asambleas políticas, deliberando sobre tópicos que no conducen a la demostración de hechos. Estas tres palabras —tribuna, discurso, orador— me parecen incompatibles con el rigor y con la sencillez científica.»

Roux ha descrito la intensidad con que Pasteur reaccionó en las famosas discusiones sobre la teoría de la enfermedad, las cuales tuvieron lugar en la Academia de Medicina de París:

«Abandonaba las reuniones en un estado de gran emoción. M. Vallery Radot, Chamberland y yo le esperábamos a la salida. "¿Les han oído? A los experimentos, contestan sólo con discursos", decía él. Su irritación decrecía lentamente, a medida que caminábamos hacia casa; y pensaba en experimentos posteriores, que arrojarían más luz, ya que las contradicciones le excitaban hacia nuevas investigaciones... La pasión de Pasteur por la ciencia le llevaba a menudo a conclusiones de una ingenuidad divertida. Para él, un hombre culpable de un mal experimento o de un razonamiento mal fundado no era digno de confianza en ningún aspecto. En una ocasión, cuando nos estaba leyendo en el laboratorio un trabajo que él consideraba muy malo, exclamó con irritación: "No me sorprendería que un hombre capaz de escribir tantas tonterías pegara a su esposa". Como si la crueldad conyugal fuera lo peor del mal comportamiento científico.»

Se daba cuenta de su falta de serenidad, y a menudo habló de «este carácter vivo y cáustico que reconozco me es peculiar en la defensa de la verdad». «¡Moderación! Es ésta una palabra que se me aplica muy raras veces; sin embargo, soy el hombre más irresoluto, el que más teme comprometerse cuando le falta evidencia; pero cuando ocurre lo contrario, ninguna consideración me impide defender lo que considero como verdad, si puedo apoyarme sobre una prueba científica sólida.» Otra vez, con motivo de su jubileo en 1892, declaró a sus colegas: «Si he alterado en ocasiones la calma de las Academias con discusiones demasiado intensas, débese tan sólo a que deseaba defender la causa de la verdad.» Pasteur ha sido criticado por la violencia de sus ataques contra los enemigos de la teoría microbiana. Debe recordarse, sin embargo, que estaba luchando casi solo contra las doctrinas oficiales de la época. A Darwin le sonrió la fortuna al tener como discípulo a ese maestro de la exposición que fue Huxley. Este se constituyó en «el perro guardián de Darwin». Y así como la consigna de Darwin era «la paz a cualquier precio», la de Huxley era «la guerra a cualquier costo». En contraste con esto, Pasteur fue por mucho tiempo casi el único campeón de la teoría microbiana, y tenía que actuar en los papeles de Darwin y Huxley.

La defensa de sus propios descubrimientos no fue la única causa que excitó su espíritu combativo; la ciencia y sus contribuciones al bienestar de la humanidad y al poder de la nación inspiraron algunas de sus más apasionadas diatribas. Conmovido ante el abandono de la investigación científica en Francia, trató de allegar el interés de las organizaciones gubernativas mediante cartas, incluyendo dedicatorias a soberanos, dando conferencias y preparando demostraciones para entretener a la par que instruir a la corte y a la sociedad. Debido a su respeto hacia la autoridad tradicional y legal, abogó primero por la causa de la ciencia con expresiones de respeto y casi de humildad. Sus palabras y su persona recibieron un interés indulgente, pero no recibió ninguna respuesta a sus peticiones de fondos, y mientras se gastaban millones de francos en el nuevo teatro de la Opera de París no se podían destinar ni unos pocos miles para fundar laboratorios. Entonces perdió la paciencia. Pero de la misma forma en que se había dirigido a los médicos jóvenes desde su asiento de la Academia, resolvió acudir directamente a la opinión pública, enviando al periódico oficial *Le Moniteur* una súplica apasionada, en apoyo de la investigación científica. El artículo fue rechazado por el comité editorial como subversivo, pero finalmente lo publicó la *Revue des Cours Scientifiques* en 1868, bajo el título *Le budget de la science*. Entre tanto, había llegado hasta el emperador, quien, bastante interesado por él, tomó una decisión inmediata y personal para la reorganización de la ciencia francesa; pero la guerra franco-prusiana interrumpió al poco la ejecución de los nuevos planes.

Pasteur vio en la derrota de Francia una trágica venganza de su actitud y volvió a publicar su advertencia en 1871, en forma más extensa, bajo el título *Quelques réflexions sur la science en France*. En ella se lamentaba de las circunstancias materiales que impedían que los jóvenes estudiantes franceses dedicaran sus energías a la investigación; señalaba el estado mísero que presentaban los laboratorios de Francia en contraste con la ayuda magnífica que recibían en el extranjero y, muy particularmente, en Alemania; puntualizó el papel prominente que tuvo la ciencia francesa cuando permitió que el país hiciera frente al ataque de Europa durante la Revolución y las guerras napoleónicas.

«Las instituciones públicas de Francia hace tiempo que ignoran la correlación que existe entre la ciencia teórica y la vida de las naciones. Víctima de su inestabilidad política, Francia ha hecho muy poco por mantener, difundir y promover el progreso de las ciencias. Ha vivido de su pasado, creyéndose grande a través de los descubrimientos científicos debido a la prosperidad material que a ellos se debe, pero sin comprender que estaba dejando que se agotara la fuente del bienestar.

»Mientras Alemania multiplicaba sus universidades, provocaba una sana competencia entre ellas, rodeaba a sus maestros de honores y consideraciones, organizaba vastos laboratorios con el mejor equipo, Francia, enervada por revoluciones, preocupada siempre por la búsqueda estéril de una mejor forma de gobierno, sólo dedicaba una atención distante a las instituciones del más alto saber.

»En el presente estado de la civilización moderna, el cultivo de las

Madame Pasteur y su hija María Luisa en el jardín de la Escuela Normal, el año 1877.

formas más elevadas de la ciencia es tal vez tan necesario para el estado moral de una nación como para su prosperidad material...

»Nuestros desastres de 1870 se encuentran presentes en la mente de todos. Es obvio, por desgracia, que no tuvimos hombres suficientemente preparados para organizar y utilizar los recursos de la nación...

»Si en el momento del peligro supremo no pudo encontrar Francia los hombres que aprovecharan su potencia y el valor de sus hijos, estoy seguro que se debe a que descuidó durante medio siglo las grandes labores del pensamiento, particularmente en las ciencias exactas.»

Describía con entusiasmo cómo, en virtud de ser guía de la investigación científica durante los cincuenta años anteriores a la Revolución,

la Francia de 1792 había multiplicado sus fuerzas a través del genio de la invención y había encontrado, dondequiera que fue necesario, hombres capaces de organizar la victoria. Con palabras de abrumadora convicción exclamó:

«¡Oh, país mío! Tú que por tanto tiempo sostuviste el cetro del saber, ¿por qué desdeñas tus creaciones más nobles? Son la antorcha divina que ilumina al mundo, la fuente viva de los sentimientos más elevados, que nos preserva de sacrificarlo todo a los impulsos materiales...

»Les imploro que tomen interés en esas sagradas instituciones que designamos con el nombre tan expresivo de laboratorios. Pidan que se multipliquen y adornen; son los templos del bienestar y del futuro. Es allí en donde crece la humanidad y se hace mejor y más fuerte... Allí se aprende a leer en las obras de la naturaleza los símbolos del progreso y de la armonía universal, mientras que las obras de la humanidad están a menudo fundadas en el fanatismo y en la destrucción...»

Pasteur llevaba a su hogar sus preocupaciones científicas, y su familia era testigo mudo de sus meditaciones y auditorio de sus sueños. Como hemos visto, esta asociación íntima entre el hogar y la vida de estudio la había comenzado desde su niñez, con sus padres. En la familia de Pasteur el estudio no era una etapa pasajera para ser abandonada tan pronto como fuera posible y así regocijarse con unas vacaciones veraniegas o con la ociosidad del adulto en una conversación trivial y la lectura del periódico; el estudio era un componente inacabable de su vida, cambiando en intensidad no de acuerdo con las estaciones y los años, sino solamente con su naturaleza, de acuerdo con sus responsabilidades sociales y su lugar en el mundo.

Para estar más cerca de su trabajo, Pasteur y, siempre que fuese posible, sus ayudantes tenían sus habitaciones cerca del laboratorio. La jornada de trabajo empezaba a las ocho de la mañana y duraba hasta las seis de la tarde, y las fiestas eran raras. «Consideraría un acto reprochable —decía— dejar transcurrir un día sin trabajar.»

En las noches se dedicaba a la lectura, a la correspondencia y a la preparación de trabajos científicos. Madame Pasteur los copiaba «con su hermosa escritura, tan fácil de leer». Jamás mandó un manuscrito al impresor si no ofrecía una forma escrupulosa y nítida, con todas las correcciones cuidadosamente hechas.

Pasteur llevó a la vida social y a la del hogar algunas manías, resultado de sus problemas científicos. Hasta donde era posible evitaba dar la mano, por peligro de infección. A la hora de comer restregaba los vasos y los platos con la esperanza de quitarles alguna suciedad que los contaminara. Loir ha descrito la conducta extraña derivada de sus hábitos de observación cuidadosa y detallada:

«Inspeccionaba minuciosamente el pan que le servían y colocaba sobre el mantel todo lo que encontraba en él, pequeños fragmentos de lana, de cucarachas y de gusanos de la harina. A menudo traté de descubrir en mi propia porción de pan, procedente de la misma hogaza, los objetos encontrados por Pasteur, pero nunca pude hallar nada. Todos los demás comían del mismo pan, sin encontrar tampoco nada en él.

Esta búsqueda tenía lugar en casi todas las comidas, y es tal vez el recuerdo más notable que conservo de Pasteur.»

Durante las épocas de gran preocupación permanecía completamente callado, aun con los miembros de su familia. Nada podía borrar la tensión de su semblante hasta que había resuelto el problema. Sin embargo, una vez que había encontrado la solución, se volvía exuberante y permitía que todos los que le rodeaban compartieran sus esperanzas y alegría; su esposa y sus hijos tenían que participar tanto de su angustia como de su triunfo. Proseguía a la hora de la comida sus controversias de la tarde en la Academia o con algún oponente lejano. Para él, resultaba inconcebible que una cuestión merecedora de una fuerte discusión en una sesión científica no continuara siendo el foco de interés en una reunión social.

Los únicos amos de Pasteur fueron el trabajo y la ciencia. En verdad, pudo decir a los músicos y artistas reunidos en su honor, durante el jubileo de 1892, que los estaba viendo a todos ellos por primera vez. Y era sincero cuando escribió: «Trabajemos, es la única cosa entretenida.» ¿Cuáles fueron los motivos que potenciaron esta actividad incesante, esta dedicación a una vida de trabajo asiduo, este sacrificio de los pequeños placeres de la existencia?

Dícese algunas veces que Pasteur estaba ansioso de dinero, que el deseo de hacer fortuna motivó su extraordinario consumo de energía. Como pequeño burgués francés, salido de un ambiente de lucha, anhelaba ciertamente una seguridad financiera; pero así sucede con la mayor parte de los hombres. No hay, sin embargo, indicaciones de que el instinto por el dinero desempeñara un papel importante en sus actividades. Después de haber descubierto las técnicas para la conservación del vinagre, del vino y de la cerveza mediante el uso del calor, obtuvo patentes para proteger los derechos de sus descubrimientos. Que hubo discusiones en el seno de su familia en relación con la posible explotación financiera de estas patentes se revela en algunas de sus cartas: «Mi esposa..., que se preocupa por el futuro de nuestros hijos, me ofrece buenas razones para superar mis escrúpulos.» A pesar de todo, Pasteur decidió entregar sus patentes al público, y no obtuvo ningún provecho económico ni por la producción o venta del equipo industrial, diseñado para la pasteurización.

El descubrimiento de la inmunización contra el carbunco y la erisipela del cerdo presentó una nueva oportunidad de obtener un gran beneficio económico. Después del experimento de Pouilly-le-Fort, Pasteur había dedicado para su laboratorio los beneficios obtenidos por la vacuna contra el carbunco en Francia, reservando para él y sus colaboradores tan sólo los ingresos de la venta a países extranjeros. En 1882, un financiero holandés le ofreció cien mil francos —suma importante en aquel tiempo— por el derecho exclusivo a usar la técnica en Africa del Sur. Pasteur pensó en aceptar la oferta y comenzó a soñar con su familia y asociados íntimos acerca del uso que haría de esa fortuna. Sin embargo, una palabra de aviso de Dumas, señalándole la forma tan desafortunada en que Liebig había permitido que se usara su nombre como

El químico alemán J. von Liebig (1803-1873) desarrolló procedimientos para la obtención de leche artificial y la preparación de extractos cárnicos.
Unos de estos últimos apareció en el mercado anunciándose con su nombre.

anuncio del extracto de carne, fue suficiente para detenerle, y no fue más allá con su plan.

Era común en Francia la costumbre de que un individuo poseyera varios y altos nombramientos de enseñanza para aumentar sus ingresos. Pasteur se opuso fuertemente a esto, ya que interfería el trabajo de investigación; fiel a su propia enseñanza, renunció en 1868 al puesto de profesor de física y química en la Escuela de Bellas Artes, que había ostentado durante tres años, y rehusó enseñar química en la Escuela Normal mientras mantuviese la cátedra en la Sorbona.

Según Loir, hubo muchas discusiones referentes a la conveniencia de utilizar la fabricación y venta de vacunas como una fuente de ingresos para el laboratorio. Esta conducta fue adoptada finalmente, bajo la influencia de Duclaux, y en contra de la opinión de Pasteur, con el fin de facilitar el financiamiento del trabajo científico en el futuro. En realidad, Pasteur dejó de buen grado a otros el manejo de los negocios siempre que se trataba de dinero, y su propio salario se entregaba directamente a su esposa. Sus necesidades diarias eran pequeñas; el laboratorio y las sesiones de la tarde en la Academia constituían su vida fuera del hogar. Cuando realizaba un viaje científico, llevaba el dinero justo para cubrir las necesidades inmediatas, y confiaba en su esposa para que le suministrara más fondos cuando surgían gastos imprevistos.

Es en verdad increíble que la simple ambición por el dinero pudiera ser el incentivo para el gasto de tanta energía y talento, y sólo seres mezquinos con corazones vacíos y sin imaginación podrían explicar las ambiciones de Pasteur en términos tan simples. A lo sumo, la independencia económica constituía la expresión de seguridad y, más aún, el símbolo del lugar que él consideraba debía ostentar en la sociedad. El decoro oficial y el tipo de carruaje apropiado para las ocasiones importantes fueron para él —como el vestir limpio y conservador— más una cuestión de decencia que de comodidad y placer. Al igual que la mayor parte de otros creadores, respetó las tradiciones y convencionalismos que existían fuera del campo de su propio esfuerzo, probablemente porque le faltaba tiempo para revisar su significado y valor, y porque era demasiado consciente para formular a la ligera un código de ética personal. Ciertamente tenía ambiciones sociales, pero no tantas como para participar en la vida brillante y frívola de su tiempo, sino para ser reconocido como un dirigente de la comunidad, como la más alta expresión de su genio. Una vez dijo: «Las ciudades deberían darse cuenta de que son recordadas en el curso de los tiempos por el genio y el valor de unos cuantos de sus hijos.» El quiso ser uno de aquellos por los cuales se recuerdan las ciudades.

Fue celoso del derecho a sus descubrimientos. En una ocasión, al comienzo de su carrera, cuando se había apresurado a publicar por temor a perder la prioridad, escribió ingenuamente:

«¡Qué molesto perder por una publicación anticipada el encanto de seguir una idea fructífera, con calma y meditación prolongada! Y sin embargo, sería todavía mucho más desagradable si Mr. Marbach... llegara primero a percibir la idea general que yo estoy siguiendo.

»Por lo tanto, me inclino hacia la publicación inmediata de todos los hechos positivos que conozco.»

En sus últimos años combatió con pruebas y argumentos sin fin la acusación de que había tomado prestadas de otros algunas ideas y hechos.

La preocupación por la prioridad es sin duda uno de los puntos más sensibles entre los trabajadores científicos. Así Humphry Davy, quien se había negado a patentar su descubrimiento de la lámpara de seguridad para mineros, y a recibir dinero por ella, se disgustó mucho ante la afirmación de que Stephenson merecía la prioridad por el invento. Y a pesar de ello, la mayor parte de los hombres de ciencia no quieren reconocer estos celos y pretenden que su interés sólo lo constituye el avance de la ciencia, sin preocuparles el reconocimiento de su obra. Pasteur nos ha ahorrado estas falsas manifestaciones porque no supo ocultar el gran orgullo que le invadía con sus descubrimientos, así como por los honores que derramaron sobre él sus colegas científicos, de su país y del mundo. Para él, el reconocimiento social era el símbolo de haber cumplido su demanda. El deseo de trascender las necesidades primordiales y las satisfacciones de nuestra vida vegetativa, el llegar a ser uno de los más grandes actores en el desenvolvimiento del futuro de nuestra comunidad o de la humanidad, es un instinto probablemente extendido entre los hombres. En este aspecto, es cierto que muchos grandes descubrimientos están motivados por impulsos generosos y que su reconocimiento por la sociedad es a menudo una fuente de agradecimiento para el hombre ambicioso. Pasteur se diferenció de la mayoría de ellos sólo por descubrir en público, a menudo con una ingenuidad infantil, el placer que obtenía de la fama.

Atribuyó siempre su anhelo por el éxito y el reconocimiento a su labor como un deseo de dar brillo a la gloria de Francia. Su patriotismo estaba reforzado por el glorioso recuerdo de su país, como hemos visto, y también por la percepción de que Francia había perdido la posición de directora que ocupaba en Europa durante el siglo anterior. Esta identificación de los instintos personales y de la gloria nacional le había sido inspirada por su padre, el cual jamás había olvidado los días embriagantes, cuando las banderas de la Francia revolucionaria e imperial ondeaban sobre las capitales de Europa. Hablando de su padre, Pasteur evocó una vez la influencia de esta atmósfera en su vida. «Puedo verte todavía leyendo cerca de la lámpara, después de un día de trabajo, alguna historia de batallas en uno de esos libros de historia contemporánea que recuerdan la era gloriosa de que fuiste testigo. Mientras me enseñabas a leer, tuviste cuidado de hacerme comprender la grandeza de Francia.» Y fue realmente sincero cuando aseguró: «La ciencia ha sido la pasión dominante de mi vida. He vivido sólo para ella, y el pensamiento de Francia mantuvo mi valor durante las horas difíciles que son parte inevitable de los esfuerzos prolongados. Asocié la grandeza de ella a la grandeza de la ciencia.» Cuando, después de los desastres de Francia de 1870-1871, el gobierno italiano le ofreció la cátedra de química en la Universidad de Pisa, disfrutando un salario elevado y grandes ventajas

personales, luego de dudar mucho, rehusó. «Me sentiría como un desertor si yo buscara, lejos de mi país en desgracia, una situación material mejor que la que éste pueda ofrecerme.»

Aceptando que el amor al propio país y el instinto del reconocimiento social pueden servir como estímulo a las empresas humanas, no tienen apenas importancia al decidir la ruta de nuestro esfuerzo. Y de hecho, el problema en el que el deseo de servir a su patria constituyó el motivo más directo de la elección de Pasteur —a saber, el mejoramiento de la cerveza francesa— fue también el más trivial. El libro que corona esta fase de su obra, los estudios sobre la cerveza, revela la actitud de Pasteur. Contiene muy poco que se refiera a cervecería práctica, exceptuando la información referente a las alteraciones microbianas de la cerveza, pero discute ampliamente los problemas que por muchos años anidaron en su corazón: la distribución de los microorganismos en la naturaleza y el mecanismo de la fermentación.

Verdaderamente, Pasteur sabía bien que la ciencia real tiene una importancia semejante para todos los hombres, cualquiera que sea su nacionalidad. Es verdad que el hombre de ciencia, como ciudadano, puede aumentar la fama de su comunidad por la distinción de sus éxitos. Pocos, sin embargo, son los casos en los que aparece sólo el orgullo nacional como un estímulo adecuado a la prosecución científica.

«Estoy imbuido de dos impresiones profundas: la primera, que la ciencia no tiene país; la segunda, que parece contradecirse con la primera, aun cuando en realidad es consecuencia directa de aquélla, que la ciencia es la más alta personificación de una nación. La ciencia no tiene país porque el conocimiento pertenece a la humanidad y es la antorcha que ilumina el mundo. La ciencia es la más alta personificación de la nación porque esa nación será la primera que lleve adelante los trabajos del pensamiento y de la inteligencia.

»La convicción de haber alcanzado la verdad es una de las alegrías más grandes permitidas al hombre, y la idea de haber contribuido al honor de nuestro país hace esta alegría aún más profunda. Si la ciencia no tiene patria, el hombre de ciencia sí la tiene. Y es a su país a quien debe dedicar su influencia para que sus trabajos repercutan en el mundo.»

Aunque Pasteur algunas veces, en la búsqueda desinteresada de la verdad, no tenía esperanza de descubrir la naturaleza final de las cosas, consideró la ciencia como un instrumento de conquista que permite al hombre obtener dominio sobre el mundo físico, más que como una técnica para comprender el universo. Repetidamente manifestó su agradecimiento al ver que su trabajo ayudaría a mejorar el destino del hombre sobre la tierra. «A aquel que dedica su vida a la ciencia, nada puede darle mayor felicidad que aumentar el número de sus descubrimientos, pero su copa de alegría rebosa cuando el resultado de sus estudios encuentra inmediatamente aplicaciones prácticas.»

En muchas ocasiones manifestó en términos de indudable calor y sinceridad su deseo de aliviar los sufrimientos de los hombres. «No se le pregunta a uno que sufre cuál es su país y cuál es su religión. Uno

simplemente dice: "Tú sufres, esto es suficiente para mí; tú me conciernes, y yo te ayudaré".»

Con ocasión de su jubileo, resumió su credo con las palabras a menudo citadas: «Estoy absolutamente convencido de que la ciencia y la paz triunfarán sobre la ignorancia y la guerra. Que las naciones al fin se unirán, no para destruir, sino para edificar, y que el futuro pertenecerá a aquellos que hayan trabajado más en provecho de la humanidad doliente.»

Creía que era grande el «papel que desempeñaba el corazón en el progreso de las ciencias» y —verdaderamente— no hay duda de que el deseo de ser útil a los hombres, su comprensión de los problemas de la humanidad, determinó en gran parte los campos de las empresas en los que obtuvo los triunfos populares más importantes. Por dotes naturales y entrenamiento, estaba preparado para proseguir, y en forma provechosa, los problemas teóricos de que se había ocupado en sus años de juventud y que le rondaron por el resto de sus días. Prefirió dedicar muchas de sus energías a los problemas prácticos del hombre. Al obrar así, no consideró que sacrificaba la distinción intelectual, ya que, según él, la búsqueda del conocimiento con implicaciones directas en los problemas prácticos de la vida humana no podía diferenciarse fácilmente de la búsqueda de la verdad abstracta.

Entre los hombres de ciencia teóricos, hay algunos que pretenden que el deseo de contribuir al bienestar humano no representa ningún papel entre los motivos de sus esfuerzos. Consideran que la simple curiosidad, o a lo sumo alguna preocupación por la dignidad de la mente humana, son suficientes para explicar y justificar la prosecución de la ciencia por sí misma. Al hacer esto, colocan sus actividades más arriba del nivel de las preocupaciones del resto de los hombres, actitud que les crea la ilusión de ocupar un lugar destacado en la estructura social. Es probable que la fantasía, o la ceguera, más que su superioridad intelectual, sea frecuentemente la inspiración real de esta filosofía, ya que las presiones sociales ejercen una influencia más grande sobre la orientación de sus actividades de lo que la mayor parte de los científicos pretenden reconocer.

A pesar de todo, existe ciertamente una curiosidad por comprender el universo y el significado de la vida, que es independiente de las necesidades inmediatas de la sociedad y que cuenta, en parte, para el esfuerzo intelectual. Es este deseo el que expresa el biólogo inglés Joseph Arthur Thompson en las siguientes palabras: «El trabajador científico ha elegido principalmente conocer, no hacer. No busca directamente, como el hombre práctico, comprender el ideal de explotar la naturaleza y obtener el control de la vida; busca, más bien, idealizar —crear conceptos— lo real, o por lo menos aquellos aspectos de la realidad que son asequibles a su experiencia...» De hecho, como hemos visto, la apasionada abstracción de Pasteur hacia la investigación empezó mucho antes de que pudiera darse cuenta de que sus esfuerzos científicos fueran a tener un efecto directo sobre el bienestar de la humanidad. Ninguno de sus éxitos científicos posteriores le proporcionó un placer mayor que

el descubrimiento de una correlación entre la actividad óptica y la morfología de los cristales del ácido tartárico.

El hecho del descubrimiento, independientemente de sus consecuencias, se mantuvo en Pasteur como un hechizo de inacabable encanto: encantamiento salido de la emoción asociada a caminos sobre tierras hasta entonces desconocidas para el hombre. El encanto de nuevas perspectivas abiertas repentinamente al descubridor y la promesa de mayores aventuras.

«Es característico de la ciencia y del progreso que se abran continuamente nuevos campos ante nuestra vista. Cuando nos movemos hacia el descubrimiento de lo desconocido, el científico es como un viajero que alcanza cimas más y más altas, desde las cuales descubre en la lejanía nuevas tierras que explorar.» Pasteur a menudo regresaba a sus primeras publicaciones. Volviendo las páginas de sus escritos, se maravillaba de las tierras que había revelado disipando la niebla de la ignorancia, y venciendo la testarudez. Vivía de nuevo sus estimulantes expediciones, como le dijo a Loir con voz soñadora: «¡Qué hermoso, qué hermoso! ¡Y pensar que yo lo hice todo! Lo había olvidado.»

Estas habían sido las grandes aventuras de su vida. Si habló de los laboratorios en términos cariñosos, si pedía que éstos estuviesen bien equipados, fue no sólo porque vio en ellos los templos del futuro, sino porque había conocido la felicidad y el encantamiento dentro de sus paredes.

Cualquiera que haya sido el motivo inicial de sus esfuerzos —curiosidad ociosa o impulso social—, cualquiera que fuera el objetivo que él intentaba —el descubrimiento de una ley natural o la solución de un problema práctico—, el científico genial percibe las implicaciones lejanas de hechos aislados que aparecen en el campo de su visión y reconoce entre ellos las relaciones de una amplia generalización. Pasteur demostró desde el principio de su carrera científica, y mantuvo a lo largo de su vida, esta habilidad para reconocer enunciados teóricos importantes, hasta el extremo de transportar descubrimientos prácticos a términos de leyes generales de la naturaleza. De simples observaciones sobre la actividad óptica de los ácidos tartáricos derivó una interpretación que abarcó el problema de la estructura molecular. El estudio del vino y de la cerveza le llevó a ver en la vida de la levadura un microcosmos que ilustraba la unidad bioquímica de la vida. Mientras estudiaba el cólera de las aves descubrió los principios de la inmunización, y el hecho más extenso de que cualquier animal que se pone en contacto con una sustancia extraña queda alterado de forma indeleble por esta experiencia.

El deseo de controlar la naturaleza con fines prácticos y el anhelo de crear conceptos estuvieron siempre presentes simultáneamente en su mente. El hecho de que ambas tendencias se mantuvieran igualmente poderosas a lo largo de su vida, constituye tal vez el rasgo más característico de su carrera científica y explica en parte su trayectoria algo errática. Además arraigó desde pronto en su corazón el deseo secreto de llevar a cabo alguna hazaña prodigiosa. La vocación constante de

sus primeros estudios sobre la actividad óptica de las moléculas orgánicas, con su posible significado sobre la génesis de la vida, dan pie a la idea de que los problemas prácticos nunca monopolizaron completamente su imaginación. Al hablar de las conversaciones en el atardecer del laboratorio, Roux ha indicado que la mente de Pasteur alcanzaba su punto culminante siempre que se mencionaban aquellos estudios tempranos. «Hablaba en términos poéticos de la asimetría molecular y de su relación con las fuerzas asimétricas de la naturaleza. En aquellos días, Pasteur se olvidaba de las horas de comer; madame Pasteur tenía que llamarle varias veces, o había de venir ella misma a llevarle.»

Debido precisamente a su éxito como experimentador se hizo prisionero, casi esclavo, de tareas prácticas y limitadas. Pero más allá de los problemas diarios, su mirada estaba fija en la esperanza romántica de que algún día penetraría el secreto de la vida. El alquimista nunca cesó de vivir por entero y de trabajar dentro del académico.

Por educación, escuela y autodisciplina, Pasteur tuvo que comportarse como un burgués y aceptar el rígido código de la ciencia experimental; pero era por temperamento un aventurero. Con tantos mundos por conquistar, otros aún por descubrir y aún más que imaginar, ¿por qué invocar el dinero o las distinciones sociales como justificaciones de su trabajo? Premios y honores de todas clases vinieron a él, y él los disfrutó. Pero ¡cuán pálidos deben haber sido comparados con las visiones resplandecientes —de perspicacia, de adivinación, aventura y poder— que experimentó en la Escuela Normal y bajo los árboles de los Jardines de Luxemburgo en compañía de los espíritus de tantos otros soñadores!

4. Desde los cristales a la vida

«Los hombres que experimentan son como la hormiga: solamente recogen; los hombres que razonan semejan a las arañas, que hacen su tela de su propia materia. En cambio, la abeja sigue un camino intermedio: reúne el material de las flores del jardín y del campo y lo transforma y lo digiere mediante su propio poder.»—FRANCIS BACON

Pasteur dedicó los diez primeros años de su vida científica, de 1847 a 1857, a investigar la propiedad de las sustancias orgánicas para rotar el plano de la luz polarizada, y a estudiar la relación de esta propiedad con la estructura cristalina y la configuración molecular. Estos estudios suministraron las bases sobre las que durante su propia vida se formó la nueva ciencia estereoquímica. De ellos también surgió la creencia intuitiva de que las fermentaciones son manifestaciones de procesos vivos, creencia que al fin le condujo a la teoría microbiana de la fermentación y de la enfermedad. No existe ninguna indicación de que Pasteur entrara en el campo de la cristalografía con la esperanza de resolver grandes problemas teóricos o prácticos de la física, de la química o de la biología. Como estudiante aplicado, estaba deseoso de participar en las investigaciones de algunos de sus respetables maestros y continuar la línea de su interés. El problema que adquiriría tan gran trascendencia —para su carrera, para el futuro de las ciencias químicas y biológicas, y para el bienestar de la sociedad— fue consecuencia de las relaciones personales que mantuvo mientras estudiaba en la Escuela Normal.

A comienzos de siglo, Jean Baptiste Biot, que iba a representar un papel tan importante en la vida de Pasteur, había descubierto que los cristales de cuarzo rotaban el plano de la luz polarizada girándola en la dirección de su eje longitudinal. Había notado también que algunos cristales de cuarzo rotaban la luz a la derecha, mientras que otros del mismo grueso rotaban la luz con igual intensidad hacia la izquierda. Por la misma época, Haüy y su discípulo Delafosse habían observado algunas facetas sobre los cristales de cuarzo —llamadas facetas hemiédricas— que estaban inclinadas, algunas veces hacia una dirección determinada, y en otras ocasiones hacia otra respecto a las aristas del cristal donde aparecían. Fue el astrónomo inglés John Herschel quien tuvo la idea de combinar las observaciones puramente cristalográficas de Haüy y Delafosse sobre la existencia en los cristales de cuarzo de facetas hacia la derecha y hacia la izquierda con las observaciones físicas de Biot sobre la rotación de la luz, hacia la derecha y hacia la izquierda, por los

mismos cristales. Fue capaz de demostrar que la propiedad del cuarzo para rotar el plano de la luz polarizada es una consecuencia de la configuración del cristal.

Era bien sabido que el cuarzo tenía un efecto característico sobre la luz cuando se hallaba en estado cristalino. En 1815, Biot había descubierto que algunas sustancias orgánicas naturales, como el azúcar, el alcanfor, el ácido tartárico, la esencia de trementina, las proteínas y otras semejantes, podrían también rotar el plano de la luz, pero que, a diferencia del cuarzo, exhibían su actividad óptica en estado líquido y en solución.

Pasteur estaba perfectamente enterado de estos hechos, debido a que su profesor de mineralogía en la Escuela Normal era el propio Delafosse, quien había estudiado especialmente las facetas que aparecían en los cristales de cuarzo. Otra relación accidental aumentó aún más su familiaridad con el problema de la relación entre la actividad óptica y la estructura cristalina. A finales de 1846, llegó a trabajar allí, en el laboratorio de Balard, donde Pasteur era entonces asistente, un joven químico muy esforzado —Auguste Laurent—, cuya influencia directa sobre el aplicado estudiante puede percibirse en una nota manuscrita legada por Pasteur.

«... Un día ocurrió que M. Laurent —estudiando, si no me equivoco, un poco de tungstato de sosa perfectamente cristalizado— me mostró, merced al microscopio, que esta sal, aparentemente muy pura, era en realidad una mezcla de tres diferentes clases de cristales, fácilmente reconocibles con un poco de experiencia en las formas cristalinas. Las lecciones de nuestro modesto y excelente profesor de mineralogía, monsieur Delafosse, me habían hecho desde antes apasionarme por la cristalografía; y así, para adquirir mayor habilidad en el uso de los goniómetros, comencé a estudiar cuidadosamente las formaciones de una serie de compuestos, todos fácilmente cristalizables: el ácido tartárico y los tartratos... Otro motivo influyó en mi preferencia por estas formas en particular. Monsieur De la Provostaye acababa de publicar un trabajo casi completo en relación a ello; esto me permitió comparar, a medida que avanzaba, mis propias observaciones con aquellas, siempre tan precisas, de aquel científico tan inteligente.»

Así, parece como si el destino hubiera agrupado muchas influencias para preparar a Pasteur en su primera aventura científica. Se había sentido atraído por las «técnicas sutiles y delicadas que se requieren para el estudio de estas formas cristalinas encantadoras»; influido por las observaciones de Herschel y por su asociación con Delafosse y Laurent, tuvo constantemente en su pensamiento la relación que existe entre la actividad óptica y la orientación de las facetas en los cristales de cuarzo; finalmente, se había familiarizado mucho con la actividad óptica de los tartratos y con sus características cristalinas. Aunque sabía que la actividad óptica de las sustancias orgánicas era una expresión de la molécula en solución y no de la estructura cristalina, como era el caso del cuarzo, supuso, probablemente bajo la influencia de Delafosse, que debería haber algo externo —por ejemplo, facetas en los cristales del tar-

trato— que indicaría la disposición de los átomos dentro de la molécula de tartrato.

Mientras examinaba estos hechos, Biot envió a la Academia de Ciencias, en 1844, una nota en la que el químico alemán Mitscherlich describía algunos hallazgos muy curiosos que sorprendieron a Pasteur y le iniciaron en aquel viaje de descubrimiento que fue después concomitante con su vida.

Se conocían entonces dos formas diferentes de ácido tartárico: una el verdadero ácido tartárico, del que se sabía desde hacía tiempo que aparecía como un componente constante del tártaro en los toneles de la fermentación del vino; el otro, primeramente observado en 1820 por Kestner, industrial de Thann, aparecía entre los grandes cristales del ácido tartárico verdadero, bajo la forma de manojos aciculares que recordaban cristales de ácido oxálico. Se habían llamado «ácido paratartárico» y también «ácido racémico», para recordar su origen de las uvas *(racemus)*. Mitscherlich había descubierto que las dos formas de ácido tartárico y sus sales respectivas, los tartratos y paratartratos, «tienen la misma composición química, la misma forma cristalina con iguales ángulos entre sus ejes ópticos. Sus soluciones acuosas tienen la misma refracción. Pero la solución de los tartratos rota el plano de polarización, mientras que la de los paratartratos es inactiva».

Pasteur presintió inmediatamente una incompatibilidad entre el hecho de que los dos tartratos se comportaran distintamente frente a la luz polarizada y el hecho señalado por Mistcherlich de que eran idénticos en todas las demás propiedades. Estaba convencido de que tenía que haber alguna diferencia química entre las dos sustancias, y confió en que esta diferencia se manifestara en la forma de los cristales. Esta incompatibilidad le suministró el primer problema específico, un problema perfectamente definido, con el que demostrar su capacidad como experimentador. Al hacer esto demostró una de las características fundamentales de los experimentadores bien dotados: la habilidad para reconocer un problema importante, y para formularlo en términos susceptibles a la experimentación.

Imbuido de la idea de que la actividad óptica debe estar asociada a las irregularidades en la configuración cristalina, Pasteur comenzó a observar sistemáticamene los cristales de ácido tartárico y de distintos tartratos que había preparado en forma laboriosa. Vio inmediatamente pequeñas facetas de los cristales del tartrato, semejantes a las que aparecían en los cristales de cuarzo, que habían escapado a la atención de sus predecesores —un ejemplo notable del papel que desempeña una hipótesis de trabajo en el proceso de los descubrimientos—. Aunque eran observadores atentos, Mitscherlich y De la Provostaye no habían visto las pequeñas facetas de los cristales del ácido tartárico porque no tenían interés en ello. Pasteur, por el contrario, las buscaba porque había postulado su existencia y las descubrió inmediatamente. Así influyen en nuestra percepción de los fenómenos naturales las ideas preconcebidas, como lo hace nuestro juicio sobre problemas económicos, sociales y morales. En los diecinueve tartratos preparados y estudiados por

Pasteur descubrió que exhibían las facetas típicas sobre un lado de sus cristales y que todos rotaban la luz polarizada en una misma dirección. Naturalmente, infirió que la configuración cristalina y la actividad óptica, en el caso de los tartratos, estaban conectadas como ya se sabía que ocurría en el caso del cuarzo, a pesar de la diferencia fundamental de que el cuarzo posee actividad óptica solamente en estado cristalino, mientras que los tartratos conservan esta propiedad en solución. Para confirmar esa correlación se hizo después necesario determinar si los cristales de ácido paratartárico, que para Mitscherlich eran ópticamente inactivos, diferían de los tartratos ópticamente activos, ya fuera que no poseyeran ninguna faceta, o que tuvieran éstas en pares simétricos. Para tal fin, Pasteur empezó a examinar los cristales del ácido paratartárico y sus sales y encontró, de acuerdo con sus previsiones, que no poseían las facetas características de los verdaderos tartratos.

Mitscherlich se había referido en particular respecto a una sustancia determinada, el paratartrato sódico amónico, y Pasteur, por lo tanto, lo examinó con especial cuidado. Con profunda sorpresa y desagrado, y absolutamente opuesto a su anticipación a la luz de sus hipótesis, encontró facetas similares a las presentes en los cristales de los tartratos ópticamente activos. Intentando aún encontrar alguna diferencia, observó que mientras todas las facetas estaban orientadas hacia la derecha en el tartrato, en el caso de los cristales de paratartrato algunos se inclinaban hacia la derecha y otros hacia la izquierda. Siguiendo cuidadosamente su hipótesis, separó con esmero los cristales orientados hacia la derecha y los colocó en un montón, y los orientados hacia la izquierda en otro. Disolvió cada uno de ellos en agua y luego examinó las dos soluciones separadamente en el polarímetro. Con los resultados que se obtuvieron con esta operación tan simple se efectuó uno de los experimentos clásicos de la química. La solución de los cristales orientados hacia la derecha rotó el plano de polarización hacia la derecha; la solución de los cristales orientados hacia la izquierda lo efectuó hacia la izquierda. Cuando las dos soluciones se mezclaron en iguales proporciones, la mezcla aparecía como ópticamente inactiva.

Resulta fácil hacerse una idea de la situación de expectación y de la inmensa excitación que debió causar en el joven investigador. Pasteur estaba tan impresionado por la emoción de su descubrimiento que salió corriendo del laboratorio, y encontrándose con uno de los químicos ayudantes en la antesala, lo abrazó, exclamando: «¡Acabo de hacer un gran descubrimiento! ¡Soy tan feliz que estoy temblando y me siento incapaz de volver a posar los ojos en el polarímetro!»

Pasteur mantuvo a lo largo de toda su vida un vívido recuerdo de este primer triunfo científico, y nunca se cansó de referirse a él en conversaciones y en conferencias. En 1883, casi cuarenta años después del acontecimiento, lo vuelve a describir en el curso de una conferencia dada ante la Sociedad Química de París:

«Fui estudiante en la Escuela Normal Superior, desde 1843 hasta 1846. La casualidad me hizo leer en la biblioteca de la Escuela una nota del sabio cristalógrafo Mitscherlich relativa a dos sales: el tartrato y el

paratartrato de sodio y amonio. Medité durante mucho tiempo sobre esta nota; alteraba mis pensamientos de muchacho de escuela. No podía comprender que dos sustancias pudieran ser tan semejantes como indicaba Mitscherlich sin ser completamente idénticas. El saber sorprenderse y preguntar es el primer paso de la mente hacia el descubrimiento.

»Apenas graduado en la Escuela Normal, planeé la preparación de una gran serie de cristales, con el propósito de estudiar su configuración. Elegí el ácido tartárico y sus sales, así como el ácido paratartárico por las siguientes razones: los cristales de todas estas sustancias son tan hermosos como fáciles de preparar. Por otra parte, podía confirmar continuamente la exactitud de mis determinaciones, refiriéndome a la memoria de un físico capaz y diligente, M. De la Provostaye, quien había publicado un estudio cristalográfico extenso sobre el ácido tartárico y paratartárico y de sus sales.

»Pronto me di cuenta de que... el ácido tartárico y todas sus combinaciones exhibían formas asimétricas. Individualmente, cada una de estas formas del ácido tartárico daba una imagen refleja que no podía ser sobrepuesta sobre la propia sustancia. Por el contrario, no podía encontrar nada de este tipo en el ácido paratartárico y en sus sales.

»De pronto me encontré poseído por una gran emoción. Había conservado siempre en la mente la profunda sorpresa que me causó la nota de Mitscherlich sobre el tartrato y el paratartrato de sodio y amonio. A pesar del gran cuidado con que estaba hecho su estudio, pensé que tanto Mitscherlich como M. De la Provostaye no debieron darse cuenta de que el tartrato es asimétrico, como debía ser; ni que tampoco habían advertido que el paratartrato no es asimétrico, lo que también podía ser. Inmediatamente, y con ardor febril, preparé el tartrato doble de sodio y amonio, así como el paratartrato correspondiente, y procedí a preparar sus formas cristalinas, con la idea preconcebida de que encontraría asimetría en el tartrato y no en el paratartrato. Así, pensé, todo se aclararía; sería resuelto el misterio de la nota de Mitscherlich, la asimetría en la forma de los cristales del tartrato correspondería a su asimetría óptica y la ausencia de la asimetría en la forma del paratartrato correspondería con la incapacidad de esta sal para desviar el plano de la luz polarizada... Y, ciertamente, vi que los cristales de los tartratos de sodio y amonio aparecían con pequeñas facetas revelando asimetría; pero cuando volví a examinar los cristales del paratartrato, mi corazón cesó de latir por un instante: ¡todos los cristales tenían facetas asimétricas!

»Se me ocurrió la idea afortunada de orientar mis cristales con referencia a un plano perpendicular al observador, y entonces me di cuenta de que la masa confusa de los cristales del paratartrato podía dividirse en dos grupos según la orientación de sus facetas asimétricas. En un grupo, las facetas de asimetría más cercanas a mi cuerpo estaban inclinadas hacia mi derecha, con referencia al plano de orientación que acabo de mencionar, mientras que las facetas asimétricas inclinadas hacia mi izquierda se dirigían al otro lado. El paratartrato aparecía como una mezcla de dos clases de cristales; unos asimétricos hacia la derecha, otros asimétricos hacia la izquierda.

»Una idea nueva y obvia me vino de pronto. Estos cristales asimétricos hacia la derecha, que podía separar manualmente de los otros, exhibían una identidad absoluta de configuración con aquellos del tartrato dextro, clásico. Prosiguiendo con mi idea preconcebida, en la lógica de sus deducciones, separé estos cristales dextro del paratartrato cristalizado; obtuve la sal de plomo y aislé el ácido; este ácido resultó absolutamente idéntico al ácido tartárico de la uva, así como también idéntico en su acción sobre la luz polarizada. Mi alegría fue aún mayor el día en que, separando entonces los cristales con asimetría hacia la izquierda del paratartrato y obteniendo su ácido, recogí un ácido tartárico absolutamente similar al ácido tartárico de la uva, pero con una simetría opuesta, así como también con una acción opuesta sobre la luz. Su configuración era idéntica a la de una imagen en el espejo a la del ácido tartárico dextro y, en condiciones equivalentes, rotaba la luz hacia la izquierda con una intensidad semejante a la que en el otro ácido lo hacía hacia la derecha.

»Finalmente, cuando mezclé soluciones conteniendo pesos iguales de estos dos ácidos, la mezcla dio lugar a una masa cristalina de ácido paratartárico idéntico al ya conocido ácido paratartárico.»

El entusiasta Balard difundió rápidamente en los círculos científicos la noticia de estos descubrimientos inesperados, y así Pasteur entró en contacto con Biot, quien, a través de su larga y laboriosa carrera, había contribuido tanto a los problemas de la cristalografía y de la actividad óptica. Fue Biot quien había presentado ante la Academia, tres años antes, la nota de Mitscherlich que tanto confundiera a Pasteur. Fue a él, de nuevo, a quien se le pidió presentar el reciente descubrimiento. Pero, antes de hacerlo, el veterano escéptico sometió los hallazgos casi sospechosos del joven a una rigurosa verificación.

Pasteur ha dejado la siguiente relación de sus primeros tratos con Biot:

«El (M. Biot) me mandó llamar para que repitiera ante sus ojos los diferentes experimentos, y me dio una muestra de ácido racémico que había examinado previamente y que descubrió que era completamente inactivo frente a la luz polarizada. Preparé de éste, en su presencia, la sal doble de sodio y amonio, para lo cual también me proporcionó la sosa y el amonio. Se puso aparte el líquido para la evaporación lenta en uno de los cuartos de su propio laboratorio y, cuando habíanse separado de treinta a cuarenta gramos de cristales, me citó de nuevo al Colegio de Francia, para que pudiera recoger los cristales dextro y levógiros ante su presencia y separarlos según sus características cristalográficas, pidiéndome que repitiera la afirmación de que los cristales que colocaba a su lado derecho desviarían la luz hacia la derecha, y los otros hacia la izquierda. Realizado esto, me dijo que él haría el resto. Preparó las soluciones cuidadosamente pesadas, y cuando iba a experimentarlas en el polarímetro me llamó de nuevo a su laboratorio. Puso primero en el aparato la solución más interesante, la que suponía que originaría la rotación hacia la izquierda. Sin llevar a cabo una lectura, sino que a primera vista, del matiz de color ofrecido por las dos placas en el campo

del polarímetro de Soleil, reconoció que había una levorrotación intensa. Entonces, el ilustre anciano, que estaba visiblemente emocionado, me tomó la mano y dijo: "Hijo mío, he amado la ciencia tan profundamente, que este suceso agita mi corazón".»

Así, la primera fase de las investigaciones de Pasteur había establecido la existencia de tres ácidos tartáricos diferenciados por la orientación de las facetas sobre sus cristales y por la actividad óptica correspondiente, pero idénticos por lo demás en sus propiedades químicas. Las dos conferencias que Pasteur dio en 1860 ante la Sociedad Química de París nos dan su interpretación del nuevo fenómeno, y en particular la imagen mental que se había formado de la configuración molecular responsable de la actividad óptica. La hazaña intelectual que aparece en la formulación de esta imagen destaca aún más si se recuerda que la química orgánica estructural no había nacido aún y que el concepto del átomo de carbón asimétrico tendría que esperar todavía varias décadas.

«En cuerpos isómeros, los elementos y las proporciones en que están combinados son las mismas; solamente difieren en la disposición de los átomos. La gran importancia de la isomería reside en el principio de que los cuerpos pueden ser, y realmente son, distintos merced a la diferente disposición de sus átomos dentro de sus moléculas. Sabemos, por otra parte, que la disposición molecular de los dos ácidos tartáricos es asimétrica y, además, que esta disposición es absolutamente idéntica con excepción de que exhiben asimetría en direcciones opuestas. ¿Están agrupados los átomos del ácido dextro en forma de una espiral enrollada hacia la derecha o están colocados en el ápice de un tetraedro irregular, o están dispuestos según esta o aquella disposición asimétrica? No lo sabemos. Pero no cabe duda de que estamos tratando con las disposiciones asimétricas de los átomos, que nos dan una imagen que no se puede sobreponer. Es igualmente cierto que los átomos del ácido levo están dispuestos en forma absoluta y exactamente opuesta. Finalmente, sabemos que el ácido racémico está formado por la unión de estos dos grupos de átomos asimétricos dispuestos en forma opuesta.

»El cuarzo... dirán ustedes... posee las dos características de asimetría —forma hemiédrica observada por Haüy y actividad óptica descubierta por Aragó—. A pesar de todo, la simetría molecular está por completo ausente en el cuarzo. Para comprender esto, demos un paso adelante en el conocimiento del fenómeno a que nos estamos refiriendo.

»Permítanme ilustrar en forma aproximada, aunque con exactitud en lo esencial, la estructura del cuarzo y la de los productos orgánicos naturales. Imagínense una escalera en espiral, cuyos escalones son cubos o cualquier otro objeto que dé imágenes que puedan sobreponerse. Destruyan la estructura de la escalera y la asimetría habrá desaparecido. La asimetría de la escalera era simplemente el resultado de la disposición de los escalones que la componían. Así es el cuarzo. El cristal de cuarzo es la escalera completa. Es un hemiedro. Actúa sobre la luz polarizada en virtud de los escalones. Pero dejen que el cristal se disuelva, se funda o que se destruya su estructura física por cualquier otro medio; se destruirá su asimetría y, con ella, toda su acción sobre la luz

polarizada, como ocurriría, por ejemplo, con una solución de alumbre, un líquido formado de moléculas de estructura cúbica dispuestas sin ningún orden aparente.

»Imaginen, por otro lado, la misma escalera en espiral construida con escalones tetraédricos irregulares. Destruyan la escalera y se conservará a pesar de ello la asimetría, debido a que estamos trabajando con una colección de tetraedros. Estos pueden ocupar cualquier posición; sin embargo, cada uno de ellos puede tener su propia asimetría. Tales son las sustancias orgánicas en las cuales cada molécula tiene una asimetría propia que se revela en la forma cristalina. Cuando se destruya el cristal por solución, se obtiene un líquido de moléculas sin ninguna disposición particular, es cierto, pero cada una poseyendo una asimetría en el mismo sentido, si no de la misma intensidad en todas direcciones.»

Pasteur, entonces, resumió sus puntos de vista en las siguientes conclusiones:

«Cuando los átomos de los compuestos orgánicos están dispuestos asimétricamente, la asimetría molecular se traduce en una forma cristalina que exhibe un hemiedrismo que no se puede sobreponer. La presencia de la asimetría molecular que no puede ser sobrepuesta aparece en dos formas opuestas, como es el caso de los ácidos tartárico dextro y levo y todos sus derivados; entonces las propiedades químicas de las sustancias idénticas, pero opuestas ópticamente, son exactamente iguales, de lo que se deduce que este tipo de contraste y analogía no interfiere con el juego usual de las afinidades químicas».

Aun cuando la investigación de los tartratos había sido sugerida y guiada por la idea preconcebida de que la asimetría molecular debe encontrar expresión tanto en la actividad óptica como en la asimetría de la configuración cristalina, el propio Pasteur iba a encontrar bien pronto que esta relación no siempre se mantiene. Había tenido la fortuna de comenzar su investigación con los tartratos, porque todas las sustancias provistas de actividad óptica presentan en la forma más simple la relación entre estructura química, morfología cristalina y desviación de la luz polarizada. Uno está tentado, por lo tanto, a atribuir su éxito al azar. Sin embargo, tan a menudo fue ayudado Pasteur por «suerte» aparente en el curso subsiguiente de su carrera científica, que la razón de su éxito es, obviamente, otra. A lo largo de su vida mostró el don misterioso de elegir el tipo de material experimental que se adaptaba mejor a la solución de los problemas de la investigación. Esta cualidad, que es común en todos los grandes investigadores, consiste, en parte, en una sabiduría intuitiva basada en un acervo de conocimientos muy extenso. La buena fortuna se presenta ante muchos, pero pocos son los que pueden reconocerla cuando se ofrece en una forma no demasiado obvia.

Pasteur debió de estar pensando esto en muchas de sus experiencias vitales cuando reiteró una y otra vez: «En el campo de la experimentación la suerte favorece sólo a la mente preparada.»

Así fue como a la edad de veintisiete años Pasteur ya había dado pruebas de las cualidades que iban a hacer de él un gran investigador.

Había gozado de la independencia y la audacia de dudar de la validez de las aseveraciones hechas por un científico de reconocida autoridad. Había formulado una atrevida hipótesis de trabajo en términos susceptibles de estudio por los métodos experimentales conocidos. Con perseverancia, se preparó para el uso de estos métodos, no por el gusto de dominarlos, sino para obtener una respuesta a las preguntas que tenía en su mente. El predominio de los problemas sobre los procedimientos técnicos es uno de los aspectos más destacados de su genio experimental. Una vez que había reconocido y formulado un problema, era capaz de encauzar hacia su solución cualquier técnica asequible, fuera física, química o biológica; estaba siempre dispuesto a dedicarse a dominar los métodos experimentales más adecuados para dar una respuesta a sus problemas.

Ni la presión de sus obligaciones de enseñanza, ni su matrimonio, celebrado en 1849, pudieron disuadir a Pasteur de explotar la vena científica que había descubierto. Un año más tarde se refirió a la juventud como «la época cuando el espíritu de invención florece». En su caso, el florecimiento fue una explosión de experimentos e ideas, un poco defectuosos unos, otros visionarios, pero todos por igual interesantes. Jamás germinó el espíritu de invención en formas más inesperadas, ofreciendo flores y figuras fantásticas. Tanto ocurrió en tan corto período de tiempo, que un resumen cronológico daría únicamente una impresión confusa y tal vez falsa respecto al proceso intelectual que dio potencia a las actividades de Pasteur. Como sabemos, sus descubrimientos iniciales sobre los ácidos tartáricos abrieron varios canales de investigación independientes, y Pasteur trató de dividir su energía para poder seguirlos todos simultáneamente. Nosotros seremos menos ambiciosos, y aun a costa de perder parte del alborozo que proporciona la caza, seguiremos, uno tras otro, los senderos que él abrió entre 1850 y 1857.

Como señalamos anteriormente, Pasteur había hecho una selección afortunada al usar el ácido tartárico para dominar el arte de la cristalografía e investigar la relación entre la estructura cristalina y la actividad óptica. El azar le había favorecido también al hacer que fuera asequible el ácido paratartárico poco antes de que él comenzara su carrera científica. Por razones desconocidas, sin embargo, este ácido peculiar era entonces extremadamente raro y no había vuelto a aparecer, ni aun en la fábrica de Thann, donde antes abundaba. Además no se conocía ninguna técnica química para producirlo en el laboratorio, y por esta razón la Sociedad de Farmacia de París instituyó un premio de 1.500 francos para el primero que lograse la síntesis química de esa sustancia misteriosa. Pasteur, naturalmente, estaba perplejo ante la situación y se preguntaba en particular cuál podía ser el origen del ácido al cual debía sus primeros laureles científicos.

Habiendo solicitado Mitscherlich en 1852 la oportunidad de conocer al joven Pasteur, Biot hizo arreglos para un primer encuentro en su casa, al que siguió una comida en la del barón Thénard. La relación de este suceso, que envió Pasteur en una carta a su padre, irradia orgullosa ingenuidad por hallarse en tan distinguida compañía. «Te gustará ver

los nombres de los invitados: los señores Mitscherlich, Rose, Dumas, Chevreul, Regnault, Pelouze, Péligot, Prévost y Bussy. Como verás, yo era el único extraño; todos ellos son miembros de la Academia.» De interés especial para él fue el descubrimiento que realizó en aquella comida: un fabricante de Sajonia estaba produciendo de nuevo ácido paratartático. Mitscherlich creía que los tártaros de los toneles de fermentación del vino empleados por este fabricante venían de Trieste; en 1820, el fabricante de Thann, Kestner, había recibido tártaros en bruto de Nápoles, Sicilia u Oporto. ¿De dónde vino entonces el ácido paratartárico? ¿Y por qué había desaparecido? El problema de naturaleza química exigía para su solución las técnicas del explorador y del *detective*. Sin dudarlo, y a pesar de las dificultades económicas, Pasteur comenzó una cacería por Europa central para rastrear los orígenes del ácido misterioso.

En detalladas cartas a su esposa, el viajero neófito se maravilló de que el mundo exterior de Francia resultara tan civilizado y cultivado. Visitó a profesores y fabricantes de Leipzig, Friburgo, Viena, Praga, orgulloso de ver que su nombre era conocido entre sus colegas. Dedicaba su tiempo libre a estudiar en las habitaciones del hotel la caza reunida en su expedición científica y, finalmente, en Praga, obtuvo la evidencia demostrativa de que el ácido paratartárico se encontraba siempre presente en el líquido madre y quedaba después de la purificación de los tartratos en bruto, pero se eliminaba progresivamente del verdadero ácido tartárico en el curso de la purificación. En apariencia, era sólo un accidente de fabricación lo que había permitido que se acumulara en abundancia relativa en la fábrica de Thann hacía unas pocas décadas. Nostálgico, cansado y con sus recursos exhaustos, Pasteur regresó a Estrasburgo, satisfecho de haber alcanzado sus propósitos. La relación de su viaje en el periódico *La Vérité* incluye una frase que divirtió a todo el mundo, pues Pasteur dijo: «Jamás se buscó con tanto ardor un tesoro, ni jamás se adoró una belleza perseguida por colinas y valles de tal manera.»

Resulta difícil hoy en día justificar tanto entusiasmo. Uno se pregunta si Pasteur no valoró la importancia del ácido paratartárico en el dominio de la química por lo que había significado en su propia vida; un pecado común y que se olvida. Si este viaje no ha quedado como una de las grandes jornadas de la ciencia como su héroe consideraba que fuera, por lo menos ilustra la decisión y energía con que Pasteur trataba cualquier problema. Le dio además la oportunidad de investigar las pretensiones de los trabajadores alemanes, quienes pensaban que habían tenido éxito en la producción del ácido paratartárico por síntesis química. No tuvo dificultad en demostrar que estas demandas no estaban fundadas y regresó a Estrasburgo determinado a ser el primero que realizara esta empresa química. De hecho, tuvo éxito en 1853, sintetizando ácido paratartárico mediante el mantenimiento del tartrato de cinconina a alta temperatura durante varias horas. Estaba embriagado por lo que él consideraba un descubrimiento que conmovería al mundo; lo revela una carta a su padre: «Mi querido padre, acabo de enviar el siguiente

telegrama: "M. Biot, Colegio de Francia, París. Transformo ácido tartárico en ácido racémico; favor informe MM. Dumas y Sénarmont." Aquí está por fin ese ácido racémico (por el que viajé hasta Viena para encontarlo), obtenido artificialmente del ácido tartárico. Por mucho tiempo creí que esta transformación sería imposible. Este descubrimiento tendrá consecuencias incalculables.»

Las consecuencias, en verdad, estaban lejos de concederle importancia, aun cuando difícilmente eran las que él podía tener en mente. La misma operación que había dado el ácido paratartárico sintético dio también otra forma de ácido tartárico —el ácido mesotartárico—, el cual, aun cuando inactivo ópticamente, era completamente diferente del ácido paratartárico por no ser susceptible de resolución en ácidos tartáricos, levo y dextro.

El trabajo sobre los tartratos había despertado en él un interés obvio sobre el establecimiento de si la relación entre la actividad óptica y la estructura cristalina era una propiedad peculiar a las series del ácido tartárico, o si otras sustancias orgánicas que exhibían actividad óptica irían a presentar una evidencia de su asimetría morfológica en su estado cristalino. Desgraciadamente, pocas sustancias orgánicas daban cristales adecuados para el estudio por los métodos que entonces se conocían. Entre las que formaban cristales preciosos se hallaban la asparagina y sus derivados: ácido aspártico y ácido málico. Pasteur, por lo tanto, se apresuró a estudiarla.

Como la asparagina era entonces una sustancia rara, preparó grandes cantidades a partir del algarrobo, el cual crecía en los jardines de la Universidad de Estrasburgo, y encontró con satisfacción que los cristales de asparagina exhibían facetas y estaban dotados de actividad óptica. El ácido aspártico y el ácido málico derivados de la asparagina, también desviaban el plano de la luz polarizada, pero en estos casos faltaba la relación entre la actividad óptica y la estructura cristalina o era menos clara que en el caso de los tartratos. Los distintos aspartratos, activo e inactivo, aunque químicamente muy semejantes, eran diferentes por completo desde el punto de vista de la cristalografía, a pesar de presentar, aparentemente, configuraciones incompatibles. Los malatos activo e inactivo, también químicamente muy semejantes, no daban ninguna señal de correlación entre la inclinación de las facetas sobre el cristal y la dirección de la rotación de la luz. Así, la preciosa relación que mostraban los tartratos entre la actividad óptica y la estructura cristalina no siempre era clara en el caso de otras sustancias semejantes. A pesar de todo, Pasteur estaba tan convencido de la significación de sus primeros descubrimientos que no se preocupó demasiado por la inconsistencia aparente que estaba encontrando entonces. En lugar de ello, supuso con tranquila seguridad que la configuración cristalina era de importancia secundaria únicamente, y sin abandonar su creencia de que existía alguna correlación sutil entre la estructura cristalina y la actividad óptica concluyó que esta última era la expresión más constante y fundamental de la asimetría dentro de la molécula. Además, razonaba que si hay un grupo atómico común entre el ácido tartárico de la uva

orientado hacia la derecha y el ácido málico natural, el agrupamiento atómico del ácido tartárico orientado hacia la izquierda debe tener también su contrapartida en un ácido málico aún desconocido entonces, el cual, cuando se descubriera, sería un compuesto levógiro. El desarrollo de la química orgánica iba a probar pronto que él tenía razón. Así, aun antes de que la estereoquímica hubiere desarrollado sus doctrinas y el cuerpo de sus conocimientos, Pasteur fue lo suficientemente atrevido para anticipar sus conceptos innatos y prever la existencia del ácido málico levógiro.

Pasteur había separado primero los componentes activos de los del paratartrato inactivo, seleccionándolos manualmente, aprovechando la orientación de sus facetas. Este método tan laborioso fue modificado ligeramente más tarde por su alumno Gernez, quien logró la separación introduciendo en la solución sobresaturada sólo un cristal del componente activo, procedimiento que en algunas ocasiones daba como resultado la cristalización selectiva del compuesto que se agregaba.

Pasteur llegó pronto a un método fundamentalmente diferente que introdujo siguiendo el razonamiento así descrito.

«Las propiedades de los ácidos tartáricos y sus derivados aparecen idénticas mientras están en contacto... con potasa, sosa, amonio, cal, barita, anilina, alcohol, los éteres; en resumen, con sustancias que carecen de asimetría...

»Por el contrario, si se someten a la acción de la asparagina, quinina, estricnina, brucina, albúmina, azúcar, etc., al igual que ellos asimétricos, entonces los dos tartratos aparentan un comportamiento diferente. La solubilidad de sus sales es diferente. Si se combinan, los productos difieren uno de otro en la forma cristalina, en densidad, en la cantidad de agua de la cristalización, en su propia estabilidad ante al calor, precisamente en la misma forma en que los isómeros más lejanos en su relación pueden diferir entre sí.

»El hecho de que las sales dextro y levo del ácido tartárico puedan adquirir tan diferentes propiedades únicamente merced a la actividad óptica de la sustancia base con la que se combina, justifica la esperanza de que esta diferencia proporcionará el medio de desmenuzar el ácido racémico en sus componentes. Han sido muchos los intentos frustrados que he hecho en esta dirección, pero al fin he obtenido éxito mediante la ayuda de dos bases asimétricas nuevas, la quinidina y la cinconidina, que puedo obtener fácilmente de la quinina y de la cinconina, respectivamente...

»Preparo el racemato de cinconidina, neutralizando primero la base y luego agregando igual proporción de ácido. Los primeros cristales que se separan son de levotartrato de cinconidina, completamente puro. El resto del dextrotartrato se mantiene en la solución madre, ya que es más soluble; también éste cristaliza regularmente, pero en formas que son completamente distintas que las del levotartrato.»

Fue en 1857, al final del período que estamos considerando ahora, cuando Pasteur descubrió un tercer método para el fraccionamiento de los compuestos ópticamente inactivos en sus componentes «derecho»

e «izquierdo». Este método, que es en muchos respectos el más notable de los tres, fue el resultado de uno de aquellos golpes de suerte que son observados y aprovechados únicamente por la inteligencia preparada.

Se sabía de tiempo atrás que las soluciones impuras del tartrato del calcio, en algunas ocasiones, se enturbiaban y fermentaban en épocas de calor por la acción de un hongo, y Pasteur notó un día que una de sus soluciones del tartrato había sido afectada en esa forma. En esas circunstancias, la mayoría de los químicos hubiesen arrojado el líquido a la pila, considerando completamente estropeado el experimento. Pero en su mente activa se le planteó en seguida un interesante problema: ¿cómo habrían sido afectadas las dos diferentes formas que componían el ácido paratartárico bajo condiciones semejantes? En medio del más grande regocijo encontró que mientras la forma del ácido dextrotartárico había sido destruida en seguida por el proceso de fermentación, la forma levo había permanecido inalterable. La propia relación de Pasteur acerca de los cambios ocurridos en una solución de paratartrato infectada con un líquido fermentado revela su poder para pasar de las observaciones triviales a los más amplios conceptos teóricos. Como veremos, la destrucción selectiva del ácido dextrotartárico fue el primer eslabón en la cadena de razonamientos que le condujo al estudio de las fermentaciones y de las enfermedades contagiosas.

«La solución de paratartrato, al principio ópticamente inactiva, se hace pronto perceptiblemente levógira, y aumenta gradualmente la rotación hasta alcanzar el máximo. Entonces cesa la fermentación. No existen luego ni señales del ácido dextrotartárico en el líquido, el cual, al ser evaporado y tratado con un volumen igual de alcohol, produce un buen rendimiento de cristales de levotartrato de amonio.

»Dos aspectos diferentes de este fenómeno exigen explicación: como en toda fermentación verdadera, hay una sustancia que sufre alteración química y en relación con ello está el desarrollo de un organismo del tipo de los hongos. Por otra parte —y es precisamente hacia este punto a donde deseo dirigir su atención—, la sal levógira permanece inalterable por el moho que causa la destrucción de la sal dextrógira, y esto a pesar de la identidad de las propiedades físicas y químicas de las dos sales, que se mantiene mientras no sean sometidas a influencias asimétricas.

»Aquí vemos entonces que la asimetría molecular, una propiedad típica de la materia orgánica, influye sobre un proceso fisiológico, y le influye además modificando las afinidades químicas...

»Así, el concepto de la influencia de la asimetría molecular de los productos orgánicos naturales se introduce en los estudios fisiológicos a través de este criterio importante (actividad óptica), que forma tal vez el límite perfectamente definido que puede marcarse en el tiempo presente entre la química de la materia muerta y la viva.»

Aun antes de 1875 Pasteur estaba convencido de que una de las características fundamentales de la materia viva era su naturaleza asimétrica. Este pensamiento vino a ser uno de los dogmas cardinales de sus ideas bioquímicas, el cual retornó a su mente a lo largo de su vida;

así en 1886, treinta años después de haber abandonado la experimentación sobre asimetría molecular, discutió un trabajo sobre las dos asparaginas de actividad óptica opuesta presentado por uno de sus colegas en la Academia de Ciencias, y llamó la atención acerca del hecho de que una de las asparaginas es dulce al gusto, mientras su antípoda óptica es insípida, sugiriendo que esta diferencia podía deberse a una acción diversa de los dos antípodas asimétricos sobre los constituyentes asimétricos del nervio gustatorio.

Biot, se recordará, había descubierto que algunos materiales orgánicos, azúcar, albúmina, trementina y otros, rotaban el plano de la luz polarizada. Sobre la base de su propia experiencia, Pasteur estuvo muy pronto en posición de señalar que, en contraste con el comportamiento de la mayoría de estas sustancias naturales, los productos artificiales de laboratorio carecían de actividad óptica, y llegó a estar poseído por la idea de que la asimetría molecular sólo podía ser producida a través de un agente vital. Sus puntos de vista preconcebidos aparecieron deshechos cuando en 1850 Dessaignes, químico francés de Vendôme, anunció que había obtenido ácido aspártico idéntico al producto natural calentando las sales amoniacales de los ácidos fumárico y maleico, dos sustancias que se sabía que eran ópticamente inactivas. Dessaignes proclamaba así haber conseguido lo que Pasteur creía firmemente imposible, a saber: la preparación por métodos químicos de una molécula ópticamente activa (ácido aspártico), de una inactiva (ácido fumárico o omaleico). Pasteur se apresuró entonces a ir desde Estrasburgo a Vendôme y obtuvo de Dessaignes una muestra de su ácido aspártico artificial; pronto tuvo la satisfacción de demostrar que esta última sustancia era ópticamente inactiva y, por lo tanto, no igual, realmente, al ácido aspártico natural. Aún más, convirtió este ácido aspártico inactivo en ácido málico, y de acuerdo con sus anticipaciones, encontró que este ácido málico difería del natural en que también era inactivo a la luz polarizada.

El triunfo de Pasteur era en apariencia completo, pero se hacía necesario contar con la existencia de estas nuevas formas sintéticas de los ácidos aspártico y málico, que eran diferentes de los productos naturales. El trabajo concerniente a este estudio llevó a una comedia de errores, en la cual Pasteur hizo un descubrimiento espectacular, basándose en conceptos teóricos falsos. Debido a su idea preconcebida de que las sustancias ópticamente activas no podían ser sintetizadas por métodos químicos, no pensó en considerar que el ácido málico sintético que él había producido podía ser una mezcla de cantidades iguales de los ácidos levo, málico y dextro. ¿Cómo podía haber llegado a imaginar la síntesis simultánea de los compuestos ópticamente activos cuando él consideraba la síntesis de uno de ellos como irrealizable? Con el fin de explicar la producción del ácido málico ópticamente inactivo por síntesis, postuló la existencia de una nueva clase de sustancias en las cuales la asimetría estaba abolida por cierto reagrupamiento interno de los átomos, en lugar de hacerlo por una mezcla de dos moléculas de carácter opuesto como en el caso del ácido paratartárico. Esta interpretación se

demostró que era equivocada cuando se vio que, en contra de su idea preconcebida, el ácido málico inactivo que había sintetizado no era sino una mezcla de antípodas ópticamente activos.

A pesar de todo, la hipótesis de Pasteur de un nuevo tipo de moléculas fue pronto confirmada en circunstancias inesperadas. Mientras estaba trabajando en la síntesis del ácido paratartárico a partir del ácido tartárico, obtuvo, además del primero, una nueva forma de un ácido tartárico ópticamente inactivo —el ácido mesotartárico— que no podía resolverse en componentes derecho e izquierdo; este nuevo compuesto correspondía a la estructura molecular que él había postulado. Así, en el preciso momento de señalar una interpretación equivocada a la naturaleza del ácido málico inactivo, había hecho una de las más importantes contribuciones a la teoría de la estructura molecular. Había postulado y demostrado la existencia de un nuevo tipo de moléculas ópticamente inactivas; a saber, una en la cual el compuesto no es ni dextro ni levógiro, ni está formado por la unión de estos dos. Se sabe bien hoy que este tipo de moléculas no existe en todos los compuestos asimétricos, como asumió erróneamente Pasteur, sino sólo en aquellos, como el ácido tartárico y los alcoholes tetra y hexahídricos y en los ácidos hidroxidibásicos, que pueden tener sus moléculas divididas en dos mitades simétricas, neutralizando los efectos ópticos de una mitad los efectos ópticos de la otra, dentro de la molécula.

En 1860, Perkin y Duppa prepararon, a partir del ácido succínico, por reacción sintética, una sustancia que el propio Pasteur identificó como ácido paratartárico y obtuvieron por tanto la síntesis no sólo de una, sino en realidad de dos moléculas asimétricas. Si Pasteur hubiera modificado ligeramente los términos de su dogma acerca de la imposibilidad de producir moléculas asimétricas por síntesis, todavía estaría aceptado sin discusión. Aún hoy, sólo puede obtenerse la síntesis de una molécula asimétrica partiendo de materiales simétricos, sin introducir al mismo tiempo un número igual de moléculas asimétricas con una configuración opuesta a la primera, introduciendo un elemento asimétrico en la reacción. La relación entre la actividad óptica y la vida aun parece ser tan estrecha como Pasteur sospechó. En cierto grado, los compuestos ópticamente activos pueden compararse con organismos vivos, ya que del mismo modo que ellos pueden convertir el material inanimado en orgánico, en forma semejante es posible sintetizar de compuestos ópticamente activos otras sustancias activas ópticamente, que llevan una cierta relación cualitativa, con el compuesto activo original.

Pasteur afirmó hasta el fin que, en un último análisis, los cuerpos asimétricos son siempre el producto del proceso vivo. Para explicar la acumulación selectiva de la forma derecha o la izquierda de una sustancia determinada durante el curso de los procesos vivientes se puede concebir que las dos formas se producen simultáneamente, pero que una de ellas se utiliza o se destruye tan pronto como se produce. Pasteur adoptó otro punto de vista que, en realidad, no excluye al primero. Se atrevió a conectar la asimetría de los productos naturales con la presencia de asimetría en las fuerzas que actúan sobre aquéllos en el momen-

to de su formación. Aun cuando la Tierra es redonda, indicó, sería simétrica y se podría sobreponer sobre sí misma únicamente si no tuviera movimiento. Tan pronto como gira sobre su eje, no se parece ya a su imagen en un espejo, ya que la imagen gira en una dirección diferente. Si hay una corriente eléctrica que marcha a lo largo del ecuador y dirige la distribución del magnetismo, esta corriente gira también en direcciones opuestas en la Tierra y en su imagen. En resumen, la Tierra es un todo asimétrico desde el punto de vista de las fuerzas que la hacen vivir y funcionar y de las cosas que producen. Es por esta razón —pensaba Pasteur— por la que las sustancias producidas por los seres vivos son asimétricas y están dotadas de actividad óptica. Si estuvieran actuando algunas fuerzas asimétricas durante el período de la génesis de una planta, podrían iniciar un proceso asimétrico que haría entonces asimétricas todas las operaciones biológicas subsiguientes. En otras palabras, el protoplasma estaría así hecho asimétrico cuando fue producido por primera vez.

Estas lucubraciones dispararon la imaginación de Pasteur y habló de ellas con un entusiasmo irreprimido en varias ocasiones:

«El universo es un todo asimétrico. Me inclino a pensar que la vida, tal como se nos manifiesta, es una función de la asimetría del universo y de las consecuencias que produce. El universo es asimétrico, ya que si todos los cuerpos que componen el sistema solar, moviéndose en sus órbitas individuales, se colocaran frente a un espejo, la imagen en el espejo no podría sobreponerse sobre la imagen real. Aun el movimiento de la luz solar es asimétrico. Un rayo luminoso jamás llega en línea recta sobre la hoja donde la vida de la planta crea la materia orgánica. El magnetismo terrestre, la oposición que existe entre el polo norte y el polo sur de un imán y entre la electricidad positiva y la negativa, no son sino las resultantes de movimientos asimétricos...

»La vida está dominada por acciones asimétricas. No puedo ni imaginar que todas las especies vivas sean primordialmente, en sus formas externas, las funciones de la asimetría cósmica...»

No se contentó Pasteur simplemente con plantear estas cuestiones. Por el contrario, tuvo el atrevimiento de intentar la experimentación en este dominio tan extremadamente especulativo, esperando duplicar en el laboratorio los efectos asimétricos que suponía dirigían la síntesis de los materiales orgánicos en la naturaleza. Por un momento, pensó en la posibilidad de que no fuera infranqueable la barrera que separa los productos sintéticos de laboratorio de aquellos formados bajo la influencia de la vida. Si es verdad que la naturaleza elabora las sustancias vivas mediante fuerzas asimétricas, ¿por qué no ha de intentar el químico imitar a la naturaleza? ¿Por qué no hace que las fuerzas asimétricas actúen sobre la producción del fenómeno químico en lugar de limitarse a métodos fundados en el uso exclusivo de fuerzas simétricas? Mientras estaba en Estrasburgo, Pasteur mandó construir imanes poderosos con el propósito de introducir influencias asimétricas durante la formación de cristales. En Lila, en 1854, dispuso un aparato de relojería con el que intentó, mediante un heliostato y un reflector, invertir el movimiento na-

tural de los rayos solares sobre una planta, desde su nacimiento hasta su muerte, para ver si, en un mundo artificial —en el cual el sol sale por el oeste y se pone por el este—, las sustancias ópticamente activas no irían a aparecer en formas opuestas a las que concurren en el orden normal de la naturaleza. Sus fieles consejeros le advirtieron que arriesgaba una gran cantidad de energía, tiempo y medios, sacrificándolos en estos experimentos fantásticos sin ningún provecho. Suficientemente inteligente para comprender que tendría mejores opurtunidades de éxito al trabajar en objetivos más limitados, Pasteur abandonó finalmente sus ambiciosos proyectos sin haber alcanzado ningún resultado. Pero jamás olvidó sus ideas románticas, sus sueños de alquimista, de aclarar el enigma químico de la vida. Una y otra vez se refería a ellos en conversaciones, conferencias y notas no publicadas. Durante de la guerra de 1870, y después de ella, mientras se vio forzado a permanecer lejos de su laboratorio, volvió una vez más a las ideas de sus tempranos años y las discutió en una carta a su asistente Raulin.

«He comenzado aquí algunos experimentos sobre cristalización que abrirán grandes perspectivas, en el caso de que lleven a resultados positivos. Como usted sabe, creo que existe en el universo una influencia asimétrica que preside, constantemente y en forma natural, la organización molecular de los principios inmediatamente esenciales a la vida. En consecuencia, las especies de los tres reinos dan muestras de una relación condicionada a los movimientos del universo por su estructura, por su forma y por la disposición de sus tejidos. Para muchas de estas especies, si no para todas, el Sol es el *primum movens* de la nutrición; pero creo que existe otra influencia que afectaría toda la organización, pues sería la causa de la simetría molecular propia de los componentes químicos de la vida. Desearía captar, mediante experimentos, algunas indicaciones sobre la naturaleza de esta gran influencia cósmica asimétrica. Puede ser electricidad, magnetismo... Y como uno debe proceder siempre de lo simple a lo complejo, estoy tratando de cristalizar el racemato doble de sosa y amonio bajo la influencia de un solenoide espiral.»

Intoxicado por su imaginación, Pasteur intentó así alterar el curso de la síntesis química y hasta emplear o modificar la vida por medio de fuerzas asimétricas. ¿Qué clase de mundo sería, se preguntaba, aquel en que el azúcar, la celulosa, las albúminas y otros materiales orgánicos constaran de moléculas orientadas en forma diferente a la que conocemos? Aun cuando nunca abandonó estos sueños, comenzó a darse cuenta en los últimos años de las dificultades que ofrecía su realización experimental, especialmente después de que sus estudios sobre la generación espontánea le habían convencido del efecto predominantemente director del «germen» sobre el desarrollo de las cosas vivas. Parece que únicamente uno de sus colaboradores y discípulos, Duclaux, ha hablado con calor y simpatía de estos proyectos, hasta el extremo de preparar él mismo un informe de lo hecho por el maestro en 1874. «Con el fin de introducir dentro de una célula principios inmediatos diferentes a los que en ella existen, sería necesario actuar sobre ella en el momento

de su mayor plasticidad, esto es, tomar la célula germen y tratar de modificarla. Pero esta célula ha recibido de sus antepasados una herencia en forma de una o varias sustancias activas, cuya presencia es suficiente para hacerla rebelde a ciertas acciones... y comunicar a su evolución una dirección definida. Esta célula contiene en un principio no solamente *su ser*, sino también lo que *va a ser*, y constituye, por lo tanto, una fuerza inicial que da su propia dirección a las nuevas fuerzas que aparecen cada día en el pequeño mundo que gobierna... ¡Ah si la generación espontánea fuera posible!... ¡Si uno... pudiera hacer que una célula viva saliera de materiales minerales inactivos! ¡Cuánto más fácil sería darle una dirección, hacer que estas asimetrías entraran a formar parte de su sustancia y de allí a sus manifestaciones vitales! Estoy añadiendo algo a lo que Pasteur había escrito sobre estos problemas tan atractivos, pero no creo que haya ido más allá de lo que estaba en su pensamiento en mi esfuerzo para mostrar cómo... llegó a dos de los problemas que el destino quiso que él resolviera: el problema de las fermentaciones y el de las generaciones espontáneas.»

Pasteur llevó consigo hasta la tumba el sueño de su juventud científica: la visión fantástica de preparar técnicas para la creación o modificación de la vida, mediante la introducción de las fuerzas asimétricas en las reacciones químicas. Duclaux tenía razón probablemente al considerar los estudios subsiguientes sobre la generación espontánea y las fermentaciones como el resultado de aquellas primeras visiones tempranas del maestro. En verdad, resalta el hecho, que vale la pena considerar por parte de los psicoanalistas, de que Pasteur dedicó mucho del final de su vida a demostrar que la naturaleza opera como si fuera imposible alcanzar lo que él —Pasteur— no había podido lograr. Pues él probó que todas las presunciones de la creación de la vida, a partir de materiales carentes de ella, estaban basadas en observaciones defectuosas o en experimentos inadecuados; que la generación espontánea nunca había sido observada; que, hasta donde sabemos, la vida siempre proviene de un «germen» de otra vida. Demostró también que este «germen» imparte a la vida nueva que crea una fuerza directora tan intensa, que cada ser vivo, no importa lo sencillo que sea, posee una propiedad específica y funciones peculiares a ella. Cada microbio, demostraría Pasteur, es el agente específico de una determinada fermentación o de una enfermedad particular. Así como había fallado en sus intentos para modificar la vida, probó que otros, quienes pretendían haber obtenido éxito en donde él había fracasado, habían sido meras víctimas de la ilusión.

Era una de las características de Pasteur que, aun cuando soñaba a menudo con conceptos románticos, poseía en grado extremo la capacidad de observar pequeños hechos concretos, que pronto llevaban su actividad otra vez al nivel de lo posible. En medio de su interés por las consecuencias filosóficas de la actividad óptica de la materia orgánica, observó en una ocasión que el alcohol amílico, ópticamente activo, era un producto constante de la fermentación alcohólica. Esto fue suficiente para sugerirle que el alcohol amílico era otro de los productos de la vida que debía añadir a la lista de los materiales orgánicos ópticamen-

te activos primeramente estudiados por el venerado Biot. La fermentación alcohólica, por lo tanto, era manifestación de la vida. Fue esta convicción la que lanzó a Pasteur a un nuevo mar de experimentos en la travesía tempestuosa de la que iba a traer la teoría del germen, en la fermentación y en la enfermedad.

5. La domesticación de la vida microbiana

«Hay un demonio en cada uva del racimo.»—EL CORÁN

Poco después de la llegada de Pasteur a Lille, el padre de uno de sus alumnos —de nombre Bigo— vino a consultarle en relación con las dificultades que estaba teniendo en la fermentación del azúcar de remolacha en su destilería. Pasteur aceptó investigar la cuestión, dedicó algún tiempo casi todos los días a la fábrica de M. Bigo, como muestran sus libros de notas de laboratorio, y comenzó a estudiar la fermentación alcohólica en noviembre del mismo año. Esta experiencia despertó en él un interés hacia los más complejos y amplios aspectos del problema de la fermentación, y para la primavera de 1875 ya estaba investigando la producción, no solamente de alcohol, sino también de ácido butírico y tartárico por reacciones de fermentación.

La palabra «fermentación» se aplicaba entonces de un modo general a los cambios espontáneos que ocurren a veces en soluciones orgánicas o ácidas. La producción de alcohol durante el proceso del vino, la cerveza o la sidra se llamaba «fermentación alcohólica»; la conversión del vino o la sidra en vinagre, «fermentación de ácido acético»; la acidificación de la leche, durante la cual el azúcar de la leche se convierte en ácido láctico, «fermentación de ácido láctico». Se sabía también que muchas sustancias naturales, como la carne, los huevos, los caldos, podían sufrir espontáneamente otros tipos de cambios que eran designados por la palabra «putrefacción». Entonces se consideraba que la putrefacción estaba en estrecha relación con la fermentación, pero que difería de ella en los productos formados, como hacían evidente las emanaciones malolientes que acompañan al primero de estos procesos.

Tanto el público científico como el vulgo de 1850 consideraban las fermentaciones y las putrefacciones como debidas a agentes químicos —los «fermentos»— complejos y oscuros, en verdad, pero no más oscuros que aquellos que intervenían en las reacciones químicas clasificadas por el químico sueco Berzelius bajo el nombre de «procesos catalíticos». Según Berzelius, el catalizador, o el fermento, actuaban por su mera presencia en la iniciación de la reacción sin tomar parte en ella; de igual forma que un rayo o una bala de cañón al rojo puede iniciar un fuego, sin suministrar el combustible que permita el proceso del fuego, Berzelius consideraba a los catalizadores (o fermentos) como «cuerpos que son capaces, en virtud de su presencia..., de despertar afinidades latentes antes de su actuación, de modo que los elementos de un cuer-

El químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) fue el creador de una teoría para la catálisis química.

Página siguiente: Lavoisier y su esposa en su laboratorio. Relieve perteneciente al pedestal de la estatua de Lavoisier, en París.

po complejo se organizan de manera diferente, por lo cual se obtiene un grado más elevado de neutralización electroquímica». Así había fermentos alcohólicos para el ácido láctico, ácido butírico, ácido acético y la putrefacción, todos ellos catalizadores capaces de originar de alguna forma misteriosa la formación de la sustancia por la cual eran denominados. El fermento responsable de la producción de alcohol era conocido también por el nombre de levadura, que actúa también en el esponjamiento de la masa durante la fabricación del pan.

Los procesos de fermentación constituyen uno de los primeros éxitos de la tecnología. Aun antes del despertar de la historia, el hombre aprendió a usar la levadura para transformar la pasta de almidón, de difícil digestión, en pan ligero y sabroso; hazaña que contribuyó mucho al placer de la vida y tal vez al desarrollo de nuestra civilización. También con levadura aprendió a producir, de las soluciones dulces y sin alcohol, los líquidos volátiles y estimulantes que han recibido en todas las lenguas nombres que sugieren espíritus y el poder de la vida, por sus virtudes múltiples y extrañas. Todas las antiguas culturas han asociado el poder de la levadura con el fenómeno de la vida; en efecto, el pan y el vino constituyen el símbolo de la vida eterna en las religiones del Mediterráneo. Supervalorando los resultados, la naturaleza de los procesos iniciados por la levadura provocó la fantasía de los filósofos y de los químicos. El burbujeo que se desarrolla espontáneamente en el mosto y en la masa de harina se les aparecía como la manifestación de algún espíritu vivo. La fermentación vino a ser uno de los problemas favoritos de

meditación y experimentación entre los alquimistas, que obtuvieron de su estudio gran parte de su lenguaje e ideología. Los cambios sutiles de propiedades que ocurren en la masa del material en fermentación eran para ellos el símbolo de aquellas fuerzas misteriosas que, a semejanza de la piedra filosofal, podrían convertir los metales viles en oro.

Con la llegada de la ciencia racional la ambición de los filósofos naturales —de los científicos— se centró en explicar la fermentación en términos más comprensibles. Los químicos de los siglos XVIII y XIX intentaron formular la fermentación alcohólica por medio de reacciones químicas y de símbolos, que con tanto éxito se habían empleado en describir otros fenómenos de la naturaleza. Independientemente de su fe filosófica o religiosa, los filósofos naturales creían que no podía haber nada mejor para demostrar la habilidad de la mente humana, en lo que se refiere a descifrar el enigma de la vida, que el explicar satisfactoriamente estas fermentaciones misteriosas. Y de hecho esencialmente tenían razón, si no en sus conjeturas, por lo menos en su visión general del futuro camino de la ciencia, ya que mucha de nuestra comprensión acerca de las reacciones bioquímicas de los procesos vivos procede del estudio de la levadura y de la fermentación alcohólica. Es privilegio exclusivo de la levadura y de los productos originados por ella el haber alimentado, directa o indirectamente, los sueños y las locuras del hombre, inspirado a los poetas y desafiado a filósofos y científicos a la meditación y al pensamiento creador.

Lavoisier, Gay-Lussac, Thénard y Dumas —los sumos sacerdotes del culto científico de Pasteur— habían estudiado la transformación del jugo de la caña de azúcar en alcohol por los métodos de la química cuantitativa. Habían obtenido una fórmula que aparecía tan exacta como para dar la ilusión de que había sido finalmente descubierta la naturaleza fundamental del fenómeno.

Según Lavoisier, el azúcar se descomponía en dos partes, una de las cuales era oxidada a expensas de la otra con la formación del ácido carbónico, mientras que la segunda, al ceder su oxígeno a la primera, constituía la sustancia combustible, alcohol, «de modo que si fuera posible combinar estas dos sustancias, el alcohol y el ácido carbónico, obtendríamos azúcar». ¿Podría haber algo más claro que esta relación tan sencilla? La fórmula de Lavoisier era satisfactoria, exceptuando el hecho de que no quedaba lugar para la levadura. Y, sin embargo, todos los químicos daban por hecho que la levadura acompañaba, y probablemente iniciaba, la fermentación. Aun cuando era el primer iniciador de la reacción, la levadura no parecía tomar parte en ella. Berzelius explicaba este extraño problema con la palabra «catálisis».

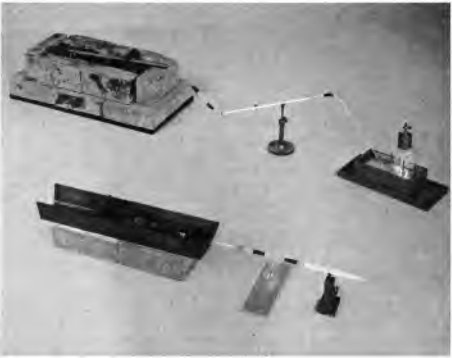
La interpretación de la fermentación alcohólica aceptada por los químicos del siglo XIX era en ciertos aspectos precursora de la moderna interpretación fisicoquímica de los procesos vivos. Una por una, todas las actividades de las sustancias vivas están siendo descritas en términos que, a medida que se definen mejor y se comprenden sus relaciones, dan cada vez una descripción más sencilla y satisfactoria de las fuerzas y de los procesos conjuntos que constituyen la vida. Pero hasta don-

Retrato del físico-químico francés Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850). Biblioteca Nacional, París.

Aparatos para el análisis de las sustancias orgánicas: arriba, el de Berzelius; abajo, el de Liebig. Museo de la Ciencia, Londres. ►

de sabemos, la integración de todos estos procesos fisicoquímicos depende de una vida previa. El bioquímico del siglo XX no sabe cómo introducir la vida en sus reacciones en equilibrio mejor de lo que el químico del siglo XIX sabía dónde colocar la levadura en la fórmula de la fermentación alcohólica. Sin embargo, tan grandes eran los triunfos de la ciencia fisicoquímica durante el «siglo maravilloso», que muchos hombres de ciencia tenían suficiente confianza o tal vez simplemente bastante presunción intelectual como para ignorar la dificultad y negarse a reconocer la existencia de un misterio no resuelto en la fermentación y en la putrefacción. Pasteur estaba a punto de remover el misterio del problema indicando que la levadura era un ser vivo y la fermentación un atributo de su vida. No tenía que preparar ningún plan radicalmente nuevo en cuanto a la forma experimental para demostrar su concepto. En realidad, la verdadera relación de la levadura con la fermentación había sido señalada claramente cuando menos por cuatro investigadores experimentados antes que él, y reconocida probablemente otras muchas veces más por hombres ignorados y tímidos, quienes, reverentes a la autoridad de la ciencia establecida, no se habían atrevido a proyectar sus observaciones más allá de los límites de sus estudios.

En 1835, Cagniard de la Tour había observado que la levadura producida durante la fermentación constaba de organismos celulares vivos que se multiplicaban por gemación, y sugirió que la vida de estas células estaba íntimamente ligada al proceso de la fermentación. Independientemente de Cagniard de la Tour, y casi simultáneamente, Schwann, en



Alemania, había publicado experimentos que daban una base a las sugerencias citadas. Como consecuencia del trabajo de Gay-Lussac hacia 1835, se había creído que la introducción de oxígeno en un líquido fermentable era suficiente para iniciar la fermentación o la putrefacción. Schwann, por el contrario, demostró que la producción de alcohol y de células de levadura no se presentaba cuando el zumo de las uvas o de otras soluciones azucaradas que habían sido hervidas se ponía en contacto con aire previamente calentado; para iniciar el proceso de fermentación tenían que añadirse a ese sistema algunas sustancias orgánicas, primordialmente la levadura. De estos experimentos dedujo Schwann que los microorganismos vivos desempeñaban un papel importante en la fermentación. Para confirmar sus ideas, trató de impedir la producción de alcohol mediante la adición de sustancias tóxicas al líquido. Al encontrar que la nuez vómica, tan tóxica para los animales, no retardaba la fermentación, mientras que el arsénico la interrumpía, dedujo que los agentes vivos responsables de la producción de alcohol se parecían más a las plantas que a los animales. También confirmó él las observaciones de Cagniard de la Tour en el sentido de que el depósito producido durante la fermentación consistía en células de levadura en gemación, y finalmente mostró que la fermentación empezaba con la aparición de estas células de levadura, que progresaba con su multiplicación, y cesaba tan pronto como se detenía su crecimiento. En 1837 fue publicada otra memoria sobre el mismo tema por Kützing, quien, al igual que Cagniard de la Tour, fundaba sus opiniones en observaciones micros-

El químico alemán F. Wöhler (1800-1882) discípulo de Liebig, consiguió sintetizar el primer cuerpo orgánico: la urea.

cópicas; consideraba la levadura como un organismo vegetal y describió su aspecto de modo exacto. Según él, la fermentación alcohólica dependía de la formación de la levadura, cuya cantidad aumentaba siempre que estuvieran presentes los elementos necesarios y las condiciones adecuadas para su propagación. «Es obvio —decía Kützing— que los químicos deben separar la levadura de la lista de los compuestos químicos, debido a que no es un compuesto químico, sino un cuerpo organizado, un organismo.»

Estos tres trabajos fueron acogidos con incredulidad, y Berzelius, árbitro en aquel tiempo del mundo químico, los revisó con un desdén imparcial en su *Jahresbericht* de 1839. Se negó a encontrar algún valor en las pruebas microscópicas y afirmó que la levadura no debía ser considerada como un organismo, puesto que era un precipitado de alúmina. Criticó los experimentos de Schwann basándose en que los resultados eran irregulares y que, por lo tanto, no probaban nada en relación con la naturaleza de la levadura ni siquiera por el efecto del calor respecto a la presencia o ausencia de fermentación. Esta crítica estaba justificada sólo hasta cierto punto, dada la honesta confesión de Schwann de que no siempre se encontraba en condiciones de predecir los resultados de tales experimentos.

Al desprecio de Berzelius se añadió bien pronto el sarcasmo de Wöhler y Liebig. A solicitud de la Academia de Ciencias, Turpin, había repetido en París en 1839 las observaciones de Cagniard de la Tour y confirmado su exactitud. Estimulado por esta publicación, Wöhler preparó un artículo burlesco y muy rebuscado, que envió a Liebig, el cual añadió algunos detalles de su cosecha y lo publicó en los *Annalen der Chemie*, a continuación de una traducción del trabajo de Turpin. La levadura se describía allí, con un grado considerable de realismo anatómico, como algo consistente en huevos que se desarrollaban hasta formar animales diminutos, con una configuración semejante a la de los aparatos de destilación. ¡Estas criaturas tomaban azúcar como alimento y lo digerían hasta convertirlo en ácido carbónico y alcohol, los cuales eran excretados separadamente! ¡Todo el proceso podía ser seguido con facilidad mediante el microscopio!

Los hechos y teorías presentados por Cagniard de la Tour, Schwann, Kützing y Turpin en apoyo de la teoría vital de la fermentación y la putrefacción aparecían tan simples y compatibles con el conocimiento existente entonces, que resulta difícil comprender por qué no fueron aceptados ampliamente sino que en cambio se desecharon y olvidaron. No era la dificultad de imaginar la existencia de agentes vivos microscópicos el obstáculo para aceptar la teoría vital de la fermentación. Desde 1675, cuando el fabricante de lentes holandés Leeuwenhoek había mostrado por primera vez en el agua y en los líquidos orgánicos la presencia de organismos microscópicos, éstos habían sido vistos a menudo por los naturalistas. Antes de la época de Pasteur, Christian Ehrenberg y Ferdinand Cohn, así como otros botánicos, habían descrito y clasificado las bacterias, microorganismos más pequeños que la levadura y más difíciles de ver y de estudiar.

Los resultados de Schwann fracasaron debido a que no siempre era posible repetirlos. En particular, cuando trabajaba con infusiones de tejidos animales en vez de con simples soluciones azucaradas, a menudo se producía la putrefacción cuando se ponía en contacto la infusión calentada con aire caliente, hecho que parecía demostrar cómo la putrefacción podía sobrevenir aun en ausencia de agentes vivos. Cuando en 1843 Hermann Helmholtz —que habría de convertirse en uno de los más famosos fisiólogos de ese siglo— no era todavía más que un joven estudiante de medicina, hizo su iniciación científica con un trabajo en el que concluía que la putrefacción de las sustancias nitrogenadas era independiente de la vida microbiana y que incluso en la fermentación alcohólica los gérmenes ocupaban un lugar secundario y subordinado. Estaba dispuesto a conceder únicamente que los materiales pútridos y fermentables suministraban posiblemente una sustancia alimenticia atractiva para ciertos gérmenes, que cuando estaban presentes parecían capaces de modificar hasta cierto punto el curso de los procesos de fermentación y putrefacción, sin ser por ello realmente sus iniciadores.

Había otras razones más profundas que hacían que los fisiólogos se mostrasen recelosos a la hora de aceptar la teoría de la fermentación y la putrefacción. La creencia de que las cosas vivas eran la causa de

El gran físico y fisiólogo alemán Hermann Helmholtz (1821-1894) combatió ardientemente el principio de las ideas innatas y se opuso a las teorías seudofilosóficas de índole vitalista.

Justus von Liebig ▶ concibió la fermentación como una transmisión de las vibraciones de las partículas del fermento hacia la materia fermentada, oponiéndose así tanto a la teoría desarrollada por Berzelius como a la desarrollada por Pasteur. Biblioteca de Munich.

tales procesos estaba en conflicto con el *Zeitgeist*, la teoría vigente en el ambiente científico y filosófico de aquel tiempo. Los matemáticos, físicos y químicos habían obtenido tantos triunfos y explicado tantos fenómenos naturales, algunos de ellos pertenecientes al propio misterio de la vida, que la mayoría de ellos no querían reconocer la necesidad de una fuerza vital responsable de esos procesos tan frecuentes. Dado que la fermentación podía ser descrita mediante una reacción química simple, no tenía sentido el explicarla en términos de un agente vivo, en vez de limitarse al simple juego de fuerzas químicas y físicas. Poco a poco, la ciencia había ido arrojando las fuerzas vivas del dominio de la fisiología, y todo el mundo creía que era capaz de continuar su curso aún más allá; recurrir a un agente vivo como la causa de una reacción química aparentaba ser un paso atrás. En el reino de la ciencia había probablemente muchos que no compartían el optimismo oficial y que no creían llegado el día en que se explicase todo en términos de fuerzas fisicoquímicas conocidas. Pero los sacerdotes de la nueva fe —Berzelius, Liebig, Wöhler, Helmholtz, Berthelot y otros— eran los dictadores supremos del pensamiento científico. El poder de su doctrina y de sus convicciones y el vigor de sus personalidades acallaron todas las voces que se aventuraron a expresar una opinión en conflicto con su propia filosofía. Como una reacción contra la actividad romántica y confusa de la *Naturphilosophie* alemana, los nuevos profetas habían pronunciado anatemas contra cualquiera que predicara la doctrina del vitalismo.

Justus von Liebig, decano de las ciencias bioquímicas, no ignoraba los hechos descubiertos por Cagniard de la Tour, Schwann, Kützing y Turpin. Estaba dispuesto a admitir que la levadura fuese una pequeña planta que desempeñaba un papel secundario en la fermentación. Pero señaló que en otras descomposiciones del azúcar, como, por ejemplo, en las fermentaciones lácticas y butíricas, no se encontraba nada que se asemejara a la levadura. Tampoco se había visto que participaran gérmenes en la putrefacción de la carne. Si la levadura contribuía, pues, a la fermentación alcohólica, no era como una sustancia viva, sino porque, al morir, dejaba en libertad en la solución materias albuminoideas que producían una vibración en la molécula del azúcar, movimiento que originaba su degradación hasta formar alcohol y ácido carbónico. «La levadura de cerveza y, en general, todas las sustancias de plantas y animales que sufren putrefacción, comunican a otras sustancias el estado de descomposición en que se encuentran ellas mismas. El movimiento que dan a sus elementos propios, como resultado de la alteración del equilibrio, se comunica igualmente a los elementos de las sustancias que se ponen en contacto con ellas.»

Liebig no había observado bases teóricas ni hechos que apoyaran esta descripción del proceso de la fermentación. Su hipótesis era un simple juego de palabras, y Goethe podía haber dicho de él:

«En el punto donde fallan los conceptos
se lanza en el momento propicio una palabra.
Palabras con que podemos atacar adecuadamente a nuestros enemigos.
Palabras con que preparamos un sistema.
Palabras que podemos creer con justificación
sin poder robar de allí ni una jota.»

Sin embargo, Louis Thénard había hecho una observación que parecía compatible con el razonamiento de Liebig. Había visto que, al añadir 20 gramos de levadura a 100 gramos de azúcar de caña disuelta en agua, se obtenía una fermentación rápida y regular, después de la cual la levadura remanente, recogida en un filtro, pesaba solamente 13 gramos. Añadida a una nueva cantidad de solución de azúcar pura, esta levadura residual producía la fermentación más lentamente que la levadura original, después de lo cual quedaba reducida a 10 gramos y era aún menos capaz de causar la fermentación del azúcar. Esto parecía ser la consecuencia de su propia actividad fermentadora.

No tendría utilidad alguna continuar exponiendo la compleja estructura de todos los razonamientos que condujeron los puntos de vista de Liebig hasta la condición de dogma oficial. Aunque vaga, su teoría estaba de acuerdo con el espíritu de la época y servía para introducir los fenómenos de la fermentación y de la putrefacción entre los pliegues de la doctrina fisicoquímica. Para superar la teoría era insuficiente oponer hechos a hechos e interpretación a interpretación; lo que hacía falta era llevar a la batalla suficiente energía, talento y convicción como para desafiar y desechar la atrincherada posición oficial. Como luchador, Pasteur demostró ser más que un igual para Liebig.

Una de las investigaciones más importantes del químico francés Jacques-Louis Thenard (1777-1857) fue la de la acción de la levadura en los procesos de fermentación alcohólica.

No hay indicios de que Pasteur hubiera realizado ninguna meditación sistemática sobre el problema de la fermentación antes de su llegada a Lille. Los primeros registros de sus libros de notas de laboratorio acerca de experimentos sobre este tema datan de septiembre de 1855, y ya en agosto de 1857 estaba listo para presentar ante la Sociedad de Ciencias de Lille, en su *Mémoire sur la fermentation appelée lactique*, una exposición completa de la teoría del germen proponiendo la metodología de su experimentación. Desgraciadamente, se conocen pocos datos que indiquen cuál fue el desarrollo de esta magnífica realización intelectual y que nos revelen en particular cómo superó, en su propia mente, la presión de la opinión científica autorizada y llegó a adoptar una interpretación biológica para un fenómeno que se describía en todos los libros de texto como una reacción química.

Aunque educado como químico, Pasteur siempre tuvo un ojo puesto en las trascendencias biológicas de su trabajo. Ya en 1854, por ejemplo, al observar que la parte de un cristal que ha sido dañada crece más aprisa que las otras partes, como si tuviera el propósito de restaurar la estructura cristalina, señaló este fenómeno estableciendo una analogía con «aquellos exhibidos por los seres vivos que han recibido una herida; la parte que ha sido dañada recupera lentamente su forma original, y el proceso del crecimiento lústico es, en este punto, mucho más activo

que en condiciones normales». Hemos insistido también en el capítulo anterior en cómo se encontraba poseído por la idea de que la asimetría molecular se relaciona con el proceso vivo. La expresión «el gran problema de la vida...» aparece a menudo en una u otra frase, en cartas a su amigo Chappuis o a su padre, o en sus conferencias y notas. Esta preocupación constante por indagar hasta el fondo el fenómeno de la vida tuvo que influirle a la hora de analizar cualquier hecho susceptible de una interpretación vitalista.

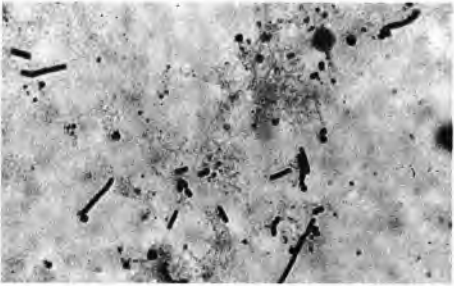
La producción de moléculas ópticamente activas, en particular la del alcohol amílico, parece haber sido el hecho determinante que le condujo a considerar la fermentación como un proceso efectuado por agentes vivos. El alcohol amílico, producto bien conocido de la destilación, había sido la primera excepción que había encontrado al establecer la correlación entre la asimetría de la estructura cristalina y la actividad óptica, y la había estudiado con especial cuidado. La forma en que este estudio le lanzó al análisis de la fermentación por levadura con una idea preconcebida opuesta a las doctrinas de Liebig está claramente expuesta en sus propios escritos. Liebig aceptaba que la actividad óptica del alcohol amílico era consecuencia del azúcar del cual derivaba durante la fermentación. Pasteur, por el contrario, estaba convencido de que la molécula de alcohol amílico estaba relacionada demasiado remotamente con la de azúcar como para conservar la asimetría de este último. «Cada vez —decía él— que tratamos de seguir la actividad óptica de una sustancia hasta sus derivados, vemos que desaparece con rapidez. El grupo molecular fundamental tiene que conservarse intacto, tal como estaba, en el derivado, para que este último sea ópticamente activo... El grupo molecular del alcohol amílico es demasiado diferente del grupo molecular del azúcar, si es derivado de él, para que conserve desde allí un acondicionamiento asimétrico de sus átomos.» En consecuencia, Pasteur consideraba la asimetría del alcohol amílico como debida a una nueva creación, y dicha creación de una molécula asimétrica, según él, sólo era posible a través de la intervención de la vida. Como corolario, la fermentación tenía que ser un proceso vital y no la simple transformación química que Liebig pensó que era.

Aun cuando Pasteur trabajó intensamente sobre la fermentación alcohólica a lo largo de 1855 y 1856, su primera comunicación sobre la teoría microbiana trató principalmente sobre la conversión del azúcar en ácido láctico, reacción que es responsable de la acidez de la leche. La elección de este tema para introducir la nueva doctrina es sorprendente si se considera que es menos importante que la fermentación alcohólica desde el punto de vista industrial y era menos conocida científicamente, teniendo por tanto menos atractivo histórico. Parece posible que la elección de Pasteur estuviese dictada en parte por un sentido sutil de la estrategia más idónea para derrotar la teoría química de Liebig. La fermentación alcohólica había perdido ya su lozanía debido a que Liebig y sus partidarios estaban dispuestos a considerar la levadura como un organismo vivo. Su razón más poderosa era siempre: ¿Qué papel puede atribuirse a la levadura cuando muchas otras fermentaciones

semejantes, la láctica, por ejemplo, se desarrollan sin la presencia de nada que se le parezca? En cierto modo, por lo tanto, la fermentación alcohólica era el *champ clos* en el cual tenía que realizarse la batalla. Otra razón pudo haber influido también en Pasteur. De todas las fermentaciones, ninguna es más simple químicamente que la conversión del azúcar en ácido láctico. Esencialmente, consiste en el desdoblamiento del azúcar en dos mitades que son las moléculas de ácido láctico. Si se podía demostrar que este proceso tan simple era inducido en realidad por un agente vivo, entonces, razonablemente, sería innecesario luchar, una tras otra, por todas las fermentaciones individualmente. La fermentación del ácido láctico podía perfectamente servir como un modelo general para aquella clase de fenómenos.

En realidad, la *Mémoire sur la fermentation appelée lactique* no ofrece una demostración rigurosa de la teoría microbiana. Señala únicamente que el material grisáceo depositado durante la conversión del azúcar en ácido láctico presenta alguna analogía con la levadura, en su modo de formación y en muchas de sus posibilidades. Si un poco de este depósito grisáceo se añade a una solución nueva de azúcar, aumenta en la misma proporción en que se produce ácido láctico. Al igual que la levadura, este fermento láctico tiene también una configuración organizada, aunque es diferente, más pequeña y más difícil de ver. Para hacer crecer la levadura, existe la costumbre de añadir un material albuminoideo al azúcar en fermentación; de igual modo, se asegura una producción más rápida de ácido láctico, acompañada de una producción también más rápida del depósito grisáceo, si se añade a la solución

Imagen al microscopio del Lactobacillus bulgaricus, *microorganismo que provoca la fermentación de los glúcidos de la leche, produciendo ácido láctico, y cuyos efectos no resultan nocivos para el hombre.*



de azúcar algo de materia albuminoidea junto con el fermento láctico. Mientras que Liebig y su escuela consideraban el material albuminoideo como el propio fermento, Pasteur indicaba que no era sino el alimento de la levadura o del fermento láctico, los cuales lo necesitaban para su desarrollo y, por lo tanto, para producir la fermentación.

Junto a estas afirmaciones referentes a la naturaleza vital del proceso de la fermentación, Pasteur describía en la misma pequeña memoria un método que aún hoy en día es la base de la técnica bacteriológica. Mostró que se puede desarrollar el fermento en un caldo de cultivo transparente, en donde se multiplica hasta dar lugar a una población de seres vivos microscópicos, cuyos individuos se asemejan todos unos a otros. Una vez desarrollados en cantidad suficiente y en estado puro, llevan a cabo con rapidez extraordinaria la transformación química que dirigen, a saber: la producción de ácido láctico. La memoria presenta también una relación exacta de la acidez, neutralidad o alcalinidad del líquido en el proceso de la fermentación. Mientras que la levadura prefiere un medio ácido, el fermento láctico se desarrolla mejor en un medio neutro; y por eso la fermentación láctica se favorece con la adición de yeso a la solución de azúcar. Hay también una insinuación a manera de presagio sobre el efecto de los antisépticos: «El aceite esencial del jugo de cebolla inhibe completamente la formación de la levadura de cerveza. Aparece igualmente dañoso para los infusorios. Puede suspender el desarrollo de los organismos sin que ejerza influencia notable sobre el fermento láctico. Los antisépticos, por lo tanto, pueden ser usados para separar diferentes fermentos unos de otros.»

Las ideas de un fermento específico asociado con cada fermentación, de la desproporción entre el peso del fermento producido y el peso de la materia transformada, de la competencia vital entre dos organismos que invaden simultáneamente el mismo medio, resultando dominante el mejor adaptado a las condiciones de cultivo..., todas estas ideas, que iba a desarrollar tan completamente en el futuro, están expuestas claramente en este trabajo. Su idea fundamental puede resumirse en las propias palabras de Pasteur: «La pureza de un fermento, su homogeneidad, su desarrollo libre sin restricción por la ayuda de sustancias alimenticias bien adaptadas a su naturaleza individual, tales son algunas de las condiciones esenciales para una buena fermentación.»

Es un hecho notable que esta memoria preliminar, que presenta en términos tan específicos el credo y el ritual de la nueva doctrina, haya aguantado el impacto de toda experimentación posterior, sin que muestre ningún defecto. Y aun todas sus pretensiones se presentaban con evidencia inequívoca. En realidad, el criterio de lo que constituye la demostración de la participación causal de un agente vivo en un proceso químico patológico está tan mal definido todavía en la actualidad, que la historia de la microbiología ofrece incontables ejemplos de suposiciones acerca de la etiología causal que experimentos posteriores no han podido comprobar. El propio Pasteur se daba perfecta cuenta de esta dificultad y señala al final de su memoria: «Si alguno dijera que mis conclusiones van más allá de los hechos establecidos, estaría de acuerdo

en el sentido de que me he colocado sin reserva en un orden de ideas que, hablando estrictamente, no puede demostrarse de modo irrefutable.»

Las suposiciones de Pasteur no se referían a la naturaleza última del proceso de la fermentación, sino únicamente expresaban la idea de que en las condiciones usadas por Lavoisier, Gay-Lussac, Thénard y Liebig, la formación de ácido láctico, de alcohol, de ácido butírico —de todos los productos de la fermentación— dependía siempre de la vida, de la levadura o de la bacteria. La fermentación era, como él dijo, «correlativa con la vida»... En consecuencia, el entendimiento más amplio del proceso de la fermentación exigía el conocimiento de las condiciones que influyen en la vida de los gérmenes y en sus actividades fisiológicas. La demostración de que los fermentos eran gérmenes vivos era el primer problema que tenía que ser resuelto antes de que la generación siguiente pudiera iniciar el análisis detenido de la composición de estos gérmenes, del complejo enzimático y de las reacciones químicas específicas de que son responsables. Lo específico de las enzimas y su modo de acción es para nuestra época lo que lo específico de los gérmenes y sus condiciones era a mediados del siglo XIX. El papel de Pasteur era definir el problema de la fermentación en términos que fueran científicamente comprensibles para su tiempo. Un campo tan limitado puede que no sea suficiente para el filósofo, pero el experimentador tiene que conformarse con él porque, como dice el Eclesiastés: «Para cada cosa hay una estación, y un tiempo para cada propósito...»

Aun cuando la *Mémoire sur la fermentation appelée lactique* era el manifiesto de la teoría microbiana, fue sólo en la *Mémoire sur la fermentation alcoolique,* publicada en forma preliminar en 1857 y por extenso en 1860, donde Pasteur cita toda la evidencia experimental que demostraba la participación de agentes vivos en el terreno de la fermentación.

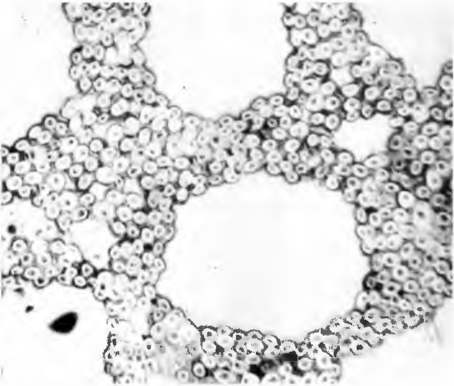
Para entonces se aceptaba generalmente que la levadura era un acompañamiento necesario de la fermentación alcohólica, pero unos pocos investigadores todavía dudaban de si era una estructura viva organizada. Berzelius consideraba la levadura como un material orgánico amorfo, precipitado durante la fermentación de la cerveza, y que parecía la morfología de la vida vegetal simple; pero la mera forma, señalaba Berzelius, no constituía la vida. Aun aquellos que aceptaban considerar la levadura como una planta microscópica creían, con Liebig, que inducía a la fermentación no como un agente vivo, sino porque su muerte liberaba una materia albuminoidea dentro de la solución del azúcar, que producía una vibración molecular capaz de desdoblar la molécula de azúcar en alcohol y dióxido de carbono. Pasteur, finalmente, demolió esta tesis por medio de dos líneas independientes de demostración. Mostró que los productos de la fermentación alcohólica eran más numerosos y complejos que los señalados en la reacción química de Lavoisier, y tuvo éxito en producir la fermentación en un medio mineral puro, bajo condiciones en que la actividad fermentativa y la multiplicación de la levadura corrían parejas.

Sin dejarse sugestionar por la autoridad de la tradición, Pasteur estableció primero que, además del alcohol y el dióxido de carbono señalados por la clásica reacción de la fermentación alcohólica, se producen cantidades significativas de otras sustancias, tales como glicerina, ácido succínico y alcohol amílico. Señaló que, debido a que los que sustentaban la teoría química de la fermentación tenían prejuicios ante una reacción tan simple, no se habían preocupado por buscar estas sustancias, que estaban siempre presentes.

Aun cuando la multiplicidad de estos subproductos —algunos de ellos ópticamente activos— daba pie para considerar que la fermentación era un proceso conplejo debido a la acción de la vida, esto no demostraba la teoría vitalista. Con el fin de engarzar la producción de alcohol y la multiplicación de la levadura en una relación de causa-efecto, Pasteur desarrolló un experimento que en aquel tiempo resultaba tan atrevido y original en su concepción como hoy nos parece simple y obvio.

Liebig sostenía la tesis de que la levadura produce alcohol únicamente después de su muerte —y al desarrollarse su descomposición— mencionando el experimento según el cual Thénard había descubierto que el peso de la levadura disminuía durante la fermentación. Liebig insistía también en que a menudo se desprende amoniaco de la levadura a medida que se descompone mientras fermenta el azúcar. Estas manifestaciones estaban basadas en observaciones correctas, y describían hechos que ocurrían frecuentemente en aquellos días cuando, de una forma desconocida para los investigadores, la fermentación de la levadura tenía lugar a menudo en presencia de una contaminación de crecimiento bacteriano. La observación de estos hechos llevaba a la conclusión bastante lógica de que la fermentación y la muerte de la levadura estaban relacionadas. Por desgracia, la lógica es un instrumento en que no se puede confiar para el descubrimiento de la verdad, ya que su uso implica el conocimiento de todos los componentes esenciales de un razonamiento, lo que en la mayoría de los casos resulta una presunción injustificada. Tampoco es el método experimental el revelador infalible del hecho puro y eterno que algunos, incluso Pasteur, quisieran hacernos creer. La validez de una teoría se demuestra generalmente más por sus consecuencias que por el esfuerzo consciente y el intelecto brillante. Las observaciones a que se refería Liebig eran correctas, pero precisamente el hecho de que la levadura era una planta viva había introducido tantos factores desconocidos y complicados en el experimento, que algunos de los hechos más significativos de la reacción se le habían escapado. Debido a que Pasteur había adivinado intuitivamente la verdadera naturaleza de la fermentación, le fue factible encontrar la imperfección del edificio intelectual de Liebig y preparar las condiciones para la demostración de que el alcohol era un producto de la vida de la levadura.

Armado con su convicción, Pasteur fue lo suficientemente atrevido como para invertir todo el razonamiento de Liebig y disponer su propio experimento de manera tal que, en lugar de desprenderse amoniaco du-



Saccharomyces cerevisiae, *levadura de la cerveza. En sus* Etudes sur la bière, *Pasteur demostró que, contra las afirmaciones de Liebig, no era necesaria materia orgánica en descomposición para que se iniciara la fermentación alcohólica.*

rante la fermentación, la levadura se produjera a partir del amoniaco agregado a la mezcla. Técnicamente el problema consistía en desarrollar la levadura en un medio desprovisto de nitrógeno orgánico —un líquido que contenía únicamente azúcar, amoniaco para proporcionar nitrógeno, y algunas sales minerales para proporcionar a los glóbulos de levadura sus elementos estructurales. Pasteur tuvo la ingeniosa idea de agregar también a su método nutritivo las cenizas de levadura incinerada además de las sales de ácido fosfórico, potasio, magnesio y hierro, esperando suministrar así los elementos minerales desconocidos que necesitaba la pequeña planta. Tuvo que reconocer que, aun en estas condiciones, la levadura crecía menos aprisa que en el jugo de la uva o en la mezcla para cerveza, probablemente porque tenía que sintetizar todos los constituyentes de sus tejidos en lugar de encontrar muchos de los factores metabólicos ya preparados en los líquidos orgánicos naturales. A pesar de todo, pudo comunicar en 1860 que había obtenido fermentación en un medio sintético inoculado con pequeñas cantidades de levadura, y que la cantidad de alcohol producida era paralela a la multiplicación de la levadura. Comprendiendo que ésta era la prueba decisiva de su tesis, volvió sobre ella una y otra vez. Con el perfeccionamiento del medio y el empleo de una clase de levadura más activa, con-

siguió obtener una fermentación más rápida mediante una técnica que describió en los *Etudes sur la bière* en 1876. Este descubrimiento trascendental estableció para siempre que, contradiciendo las manifestaciones de Liebig, no es necesaria materia orgánica en descomposición para comenzar la fermentación alcohólica. Una cantidad imperceptible de levadura, introducida en un líquido que contiene únicamente azúcar y sales minerales, hace que el azúcar fermente mientras se desarrolla la levadura, y que ésta germine y se multiplique. Todo el carbón de los nuevos glóbulos de levadura se deriva del azúcar, y, todo el nitrógeno, del amoniaco.

Entonces, ¿cuál era la significación de aquel extraño experimento en el cual Thénard había encontrado que disminuye la cantidad de levadura cuando ésta se agrega en grandes cantidades a una solución de azúcar para hacerla fermentar? Según Pasteur, aquello significaba que muchos de los glóbulos viejos de levadura morían en una solución de azúcar desprovista de amoniaco y minerales. Al deshacerse, ponían en libertad algunos de sus propios constituyentes celulares, que eran usados entonces por los nuevos glóbulos jóvenes en su multiplicación y en la fermentación del azúcar; no había bastante formación de glóbulos de levadura nuevos para equilibrar la pérdida de peso por causa de los viejos debida a la disolución. Sin embargo, si se añadía el peso de la materia orgánica que había pasado de la solución a la levadura formada, entonces se observaba que aumentaba el peso total durante la fermentación, porque siempre hay un poco de azúcar que se transforma en levadura. Así, cualesquiera que fueran las condiciones empleadas, bien se introdujera el fermento en un medio sintético mineral, o en líquidos ricos en materia orgánica procedente de la uva, de la cebada o de la propia descomposición de la levadura, la producción del alcohol siempre dependía de la vida de la levadura. Y Pasteur concluyó su memoria de 1860 con estas palabras no comprometedoras a la par que mordaces: «La fermentación alcohólica es un acto en correlación con la vida y con la organización de estos glóbulos, y no con su muerte o su putrefacción. No se debe a una acción de contacto en que la transformación del azúcar tenga lugar en presencia de un fermento sin que este último dé o tome algo de aquél.» Estas fueron las precisas palabras con que terminaba su comunicación preliminar de la teoría microbiana de la fermentación láctica en 1857. La experimentación posterior sólo había servido para añadir evidencia a la conclusión a que había llegado intuitivamente al comienzo de sus estudios.

Pasteur volvió entonces a la fermentación láctica y aquí tuvo éxito de nuevo al hacer que se desarrollara en un medio simple. Aun cuando el fermento láctico era más pequeño que la levadura, sus necesidades no eran menores, sino únicamente diferentes. Al igual que la levadura, tenía sus necesidades propias específicas, como las tienen todos los seres y células vivas.

Al cabo de pocos años se generalizó este punto de vista acerca de que los fermentos eran seres vivos. El propio Pasteur mostró que los gérmenes responsables de la producción de los ácidos tartárico, butíri-

co y acético podían ser cultivados fácilmente en un medio sintético. Cada uno de estos gérmenes era un microorganismo vivo, caracterizado por una morfología definida, necesidades nutritivas precisas y susceptible a las influencias tóxicas, así como diferenciado por su capacidad de llevar a cabo un tipo específico de actividad bioquímica. Raulin, el primero de los ayudantes de Pasteur, añadió peso a la nueva doctrina definiendo con precisión y exactitud insuperables los requisitos precisos para el desarrollo de un moho, el *Aspergillus niger,* y revelando asimismo la influencia de los factores nutritivos, y particularmente la de elementos minerales raros, en la vida de los microorganismos.

No puede uno exagerar la importancia de estos estudios en la evolución de las ciencias bioquímicas. Desde 1860, el propio Pasteur apuntó que los descubrimientos hechos en su laboratorio permitirían a la fisiología atacar los problemas químicos fundamentales de la vida. Los cuerpos de las plantas y de los animales están integrados por un inmenso número de células, mientras en los microorganismos el agente vivo está reducido a una sola célula. Por lo tanto, mediante el estudio de la fisiología microbiana fue posible analizar los fenómenos químicos que determinan la función de la célula individual —la unidad fundamental de la vida—, sea de una planta, un microorganismo, un animal o incluso del hombre.

Al llegar 1859 Pasteur dominaba suficientemente las técnicas de los cultivos puros y la preparación de medios de selección con que obtener a voluntad uno u otro tipo de fermentación, y las precisas para determinar el agente causal y su mecanismo químico. Por ejemplo, cuando añadía a una solución que contuviera una sal de ácido láctico una gota de un líquido donde se desarrollaba la fermentación del ácido butírico, pronto tenía lugar allí una transformación del ácido láctico en butírico, con desprendimiento de un gas consistente en una mezcla de dióxido de carbono e hidrógeno. Simultáneamente al nuevo proceso químico, aparecía una nueva población microscópica en el líquido. Consistía en pequeños bastoncitos, que era curioso observar cómo se movían rápidamente hacia un lado y otro con movimientos ondulantes. Debido a la idea que entonces prevalecía acerca de que la motilidad era una de las características diferenciales entre el reino animal y el vegetal, Pasteur, al principio, se inclinó a considerar estos seres móviles como animales minúsculos, y por esta razón se refería a ellos como «infusorios». Por esta razón también, dudó por un tiempo en considerarlos como la verdadera causa de la fermentación del ácido butírico, pues esta actividad se consideraba más propia de plantas que de animales. «Estaba lejos de esperar tal resultado —decía—, hasta el extremo, en verdad, de que por mucho tiempo pensé que era mi obligación evitar la aparición de estos pequeños animales, por temor a que se alimentaran de las plantas microscópicas que suponía eran el verdadero fermento butírico que estaba tratando de descubrir... Finalmente, me impresionó la coincidencia que revelaban mis análisis entre los infusorios y la producción de este ácido (butírico).»

El titubeo de Pasteur para aceptar un microorganismo móvil como

la causa de la fermentación butírica, debido a que la motilidad se consideraba una prerrogativa de la vida animal, ilustra el tipo de dificultades que tuvo que superar antes de definir el lugar de la vida microbiana en los procesos naturales. En unos pocos años, sus propios estudios sobre el metabolismo anaeróbico iban a mostrar que existen muchas reacciones químicas comunes a todos las formas de la vida. Pero en 1860, los biólogos y los bioquímicos no habían comprendido todavía que, a nivel microscópico, surgen a un tiempo la vida animal y vegetal, sin que puedan ser diferenciadas por ningún criterio sencillo. Además, Pasteur no era un naturalista, y estaba trabajando solo, sin la ayuda de una tradición científica, sin asociados con quienes compartir sus dudas y sus sorpresas ante los fenómenos inesperados que descubría hacia cualquier lado que volviese la mirada. Las numerosas y cortas descripciones que, repetidamente, se encuentran a través de sus escritos dan la impresión de un niño corriendo de un lado para otro en un bosque, abrumado y maravillado ante los signos de vida desconocida que ve o atisba simplemente, intoxicado ante el descubrimiento de la diversidad de la Creación. La fermentación butírica, que le alteró tanto al revelar una motilidad intensa en la vida microbiana, también le condujo a descubrir formas nuevas e inesperadas de los procesos bioquímicos y un nuevo escondite de la vida.

La vida en ausencia de aire brincó, podríamos decir, dentro de su campo de observación mientras estaba examinando bajo el microscopio una gota de líquido bajo los efectos de la fermentación butírica. Tenía la costumbre de colocar una gota sobre el portaobjetos de cristal, cubrirla rápidamente con el cubreobjetos y examinar la preparación al microscopio. Mientras estaba examinando, con el cuidado que ponía en todo, una de estas gotitas de líquido aplastadas y bajo el efecto de la fermentación butírica, se asombró al ver que las bacterias se hacían inmóviles en el borde de la gota aun cuando continuaban moviéndose con agilidad en la región central. Este era un espectáculo por completo opuesto a lo que tenía observado en el caso de otras infusiones en las que los animalillos dejaban a menudo la parte central de la gota para acercarse al margen, único lugar donde existía suficiente oxígeno para todos. Ante esta observación, se preguntó si los microorganismos estarían tratando de evitar el oxígeno; y pronto halló que era en verdad posible retardar y hasta evitar la fermentación butírica haciendo pasar una corriente de aire a través del líquido en fermentación. Así fue introducida en la ciencia la idea de que existe una forma de vida que puede funcionar en ausencia de oxígeno, aunque hasta entonces se había creído que este gas era esencial para todos los seres vivos. Veremos cómo Pasteur desarrolló esta idea más tarde. Por el momento, debemos contentarnos con saludar su amanecer.

Para facilitar la discusión del problema, Pasteur improvisó las palabras «aerobia» y «anaerobia» para designar, respectivamente, la vida en presencia y en ausencia de oxígeno. ¿Cómo podían vivir y multiplicarse los seres anaerobios bajo las condiciones normales en los cultivos de laboratorio, puesto que temen al oxígeno, cuando todos se encuentran

en contacto con el oxígeno del aire? Sin titubear, y sin ninguna prueba, Pasteur supuso que había introducido en sus cultivos, junto con el fermento butírico anaerobio, otros gérmenes microscópicos capaces de utilizar el oxígeno de la solución y formar en la superficie del líquido una película de crecimiento bajo la cual el ambiente gaseoso se hacía compatible con la vida anaerobia. Basándose en un número limitado de observaciones, y sin gran evidencia experimental, se convenció de que tenía lugar un fenómeno similar durante la putrefacción, y que el endiablado olor de la descomposición del caldo de carne, albúmina de huevo o de la carne misma era el resultado de la vida anaerobia de gérmenes especializados que atacan a las proteínas bajo la protección de formas aeróbicas capaces de suprimir el oxígeno en su ambiente. Pronto llegó a la conclusión de que la producción de gas durante la fermentación butírica y la putrefacción era la manifestación de la vida en ausencia de oxígeno, y sospechó una relación estrecha entre los procesos de fermentación y la vida anaerobia. Tendrían que pasar varios años, sin embargo, antes de que pudiera definir estos problemas en términos lo suficientemente concretos como para darles un claro significado.

Nunca intentó Pasteur describir con detalle el mecanismo por el cual la materia orgánica nitrogenada es destruida durante la putrefacción. Juzgó probablemente que este proceso era demasiado complejo y oscuro desde el punto de vista químico para permitir un análisis experimental demostrativo. En su lugar eligió la producción de vinagre para ilustrar aún más las actividades de los microorganismos.

La producción de vinagre se sabía entonces bien que resultaba de la oxidación del alcohol hasta formar ácido acético. En el procedimiento francés, tal como se practicaba en Orleans, se permitía que el alcohol sufriera una oxidación lenta en toneles colocados verticalmente en pilas, y llenos hasta sus dos terceras partes de una mezcla de vinagre acabado y vino nuevo. En el procedimiento alemán se obtenía el vinagre a partir de una solución alcohólica débil, a la cual se le añadía algo de ácido acético y algo de cerveza ácida o vino agrio, u otra materia orgánica en proceso de alteración; esta mezcla se vertía en una columna cilíndrica hueca de varios metros de altura, que contenía virutas de haya no apretadas, y se hacía que la solución goteara hacia abajo lentamente en contra de una corriente de aire.

El procedimiento alemán de obtención del vinagre parecía quedar explicado fácilmente mediante las teorías químicas basadas en la oxidación catalítica del alcohol en presencia del platino. Cuando se hace caer alcohol concentrado sobre platino finamente dividido, se oxida espontáneamente hasta formar aldehído y ácido acético, con gran producción de calor. Aunque en el curso del proceso no se altera, el platino activa la reacción entre el oxígeno y el alcohol, comportándose así, según la terminología de Berzelius, como un verdadero catalizador. Liebig, por lo tanto, parecía pisar en terreno firme cuando suponía que otros procesos oxidativos que ocurren en la naturaleza —la oxidación del amoniaco hasta formar nitrato en el suelo, o la oxidación de los aceites secantes, como el aceite de linaza, por ejemplo— eran el resultado de reac-

ciones semejantes, utilizando otros catalizadores diferentes del platino. En el caso de la fabricación del vinagre, consideraba que las virutas de haya desempeñaban simplemente de modo más económico el papel del platino. Al igual que éste, parecían actuar por su mera presencia, ya que estaban intactas y seguían siendo efectivas después de diez o veinte años de uso. Según Liebig, la cerveza ácida o el vino agrio agregados a la mezcla alcohólica servían únicamente para iniciar el proceso. El razonamiento según el cual Liebig creía haber demostrado el mecanismo de la formación de ácido acético en la industria alemana del vinagre parecía muy convincente. Según sus palabras:

«El alcohol, cuando está puro o diluido con agua, no se transforma en presencia del aire. El vino, la cerveza..., que contienen, además del alcohol, materia orgánica extraña, se acidifican lentamente en presencia del aire... El alcohol diluido sufre la misma transformación cuando uno le agrega cierta materia orgánica, como cebada germinada, vino... o hasta el propio vinagre ya hecho...

»No puede existir ninguna duda respecto al papel de las sustancias nitrogenadas en la acidificación del alcohol. Lo hacen capaz de absorber oxígeno, el cual no puede ser absorbido sólo por sí mismo. La acidificación del alcohol es por entero del mismo orden que la formación de ácido sulfúrico en las cámaras de plomo; así como se fija el oxígeno sobre el ácido sulfuroso a través del agente intermediario que es el óxido nitroso, de igual manera las sustancias nitrogenadas, en presencia del ácido acético, absorben el oxígeno de manera que lo hacen susceptible de ser fijado por el alcohol... Las virutas de madera, cuando están húmedas, absorben oxígeno rápidamente y se pudren... Esta propiedad de absorber oxígeno se conserva cuando las virutas se humedecen con alcohol diluido, pero en este caso el oxígeno es transportado hacia el alcohol en lugar de hacia la madera, dando así origen al ácido acético.»

A pesar de su atractiva y lógica sencillez, la teoría de Liebig estaba equivocada. Estaba basada únicamente en la analogía y en la lógica; pero la naturaleza, como si deseara humillar al hombre, reclama que éste vuelva una y otra vez a experimentos y experiencias de primera mano si desea descubrir la verdad. La analogía y la lógica proporcionan un entretenimiento intelectual estimulante, pero son sólo simples instrumentos de una mente que ha de contrastar los datos con la práctica, y rara vez constituyen guías de confianza para la exploración de la realidad.

En el proceso del vinagre utilizado en Orleans se produce en la superficie del líquido de los toneles que funcionan bien una película frágil conocida como «la madre del vinagre», que los fabricantes de vinagre tenían cuidado en no alterar ni sumergir, porque la consideraban un precioso aliado. Como la experiencia les había demostrado que la película necesitaba aire para su desarrollo, abrían ventanas en la parte de arriba de los toneles, por encima de la película del líquido. La formación del vinagre marcha bien mientras permanece extendida la película sobre la superficie del líquido, pero se interrumpe si ésta se rompe o cae al fondo. Se hace necesario entonces producir una nueva madre del vinagre para comenzar el proceso de nuevo.

Ya desde 1822, Persoon había sospechado la naturaleza viviente de la «madre del vinagre» y le había dado el nombre de «micoderma» para sugerir su naturaleza vegetal. En 1837, Kützing había llegado a ver las células bacterianas que constituyen la película de micoderma y había postulado una conexión entre la vida de la bacteria y la producción de vinagre. En forma semejante, en 1852, Thompson había expuesto su convicción de que la producción de ácido acético se debía a la «planta del vinagre». Pero en esto, como en el caso de la relación de la levadura con la fermentación alcohólica, la autoridad de Berzelius, Wöhler y Liebig había acallado la voz de aquellos que estaban tratando de traer la vida a un área que la química creía haber conquistado. Y aquí, de nuevo, fue Pasteur quien se atrevió a desafiar a Liebig en su mandato autocrático y conjuró la evidencia experimental sobre la cual se estableció la teoría vital de la fermentación acética.

Pasteur se convenció de que, tanto en el proceso de Orleans como en las reacciones de laboratorio, la conversión del vino en vinagre dependía del desarrollo de una delgada película que consistía en bacterias microscópicas llamadas *Mycoderma aceti*, que eran capaces de flotar en la superficie del líquido debido a su naturaleza grasa. Además, descubrió que pequeñas cantidades de micoderma transferidas a una solución sintética que contuviera alcohol diluido, amoniaco y sales minerales crecía en abundancia, y pruducía simultáneamente ácido acético. Encontró también una capa del mismo *Mycoderma aceti* difícilmente visible sobre la superficie de las virutas de madera usadas en el proceso alemán. .Observó que las virutas frescas, o las virutas activas que habían sido calentadas para destruir el micoderma presente en su superficie, eran incapaces de convertir el alcohol en ácido acético. Tampoco fijaba el oxígeno al alcohol cuando se dejaba fluir a lo largo de una cuerda limpia, pero tan pronto se humedecían las virutas o la cuerda en un líquido que contuviera micoderma, el alcohol se convertía en ácido acético como en las torres de virutas de haya.

Estas observaciones tenían una gran importancia práctica al proporcionar unas bases racionales para la manufactura del vinagre, y Pasteur se vio conducido a recomendar modificaciones acerca de los procedimientos industriales empleados por largo tiempo. Se le pidió en 1864 que describiera su nuevo método en un discurso ante la Cámara de Comercio de Orleans. Allí, con palabras sencillas, precisas y claras, presentó las bases teóricas de su concepto y de sus aplicaciones prácticas.

El *Mycoderma aceti*, señaló, crece mejor a temperaturas bastante altas, y por esta razón la transformación del vino en vinagre se hace más rápidamente en cuartos calentados a 15-20 °C. El micoderma necesita materiales nitrogenados, fosfatos de magnesio y potasio, y otras materias nutritivas. Es más activo en reacción ácida, propiedad que explica la práctica de añadir al vino vinagre preparado ya antes de comenzar la fabricación. Estas necesidades exactas explican el hecho de que el *Mycoderma aceti* no sea capaz de convertir el alcohol puro diluido con agua en ácido acético, pues este líquido carece de los elementos nutritivos necesarios para su desarrollo. Por esta razón, se añade en el pro-

ceso alemán un poco de vino agrio, o de cerveza ácida u otra materia orgánica, a la solución alcohólica diluida antes de dejar que escurra por la columna rellena de virutas de haya. No se agrega esta materia orgánica para que actúe como fermento y ponga en marcha el fenómeno, como pensaba Liebig, sino para que sirva de alimento al micoderma.

La oxidación hasta formar ácido acético de diez litros de alcohol necesita más de seis kilogramos de oxígeno, que tienen que ser suministrados por más de quince metros cúbicos de aire. El papel del *Mycoderma aceti* consiste en transferir este oxígeno del aire al alcohol. Cualquier agente o condición que interfiera con esta transferencia de oxígeno, que tiene lugar a través de la capa superficial de la madre del vinagre, también interfiere la producción de ácido acético, y Pasteur señaló bien claramente a los fabricantes de vinagre que muchos de sus fracasos podían ser explicados en esos términos.

Cuando la película de micoderna cae al fondo del tanque y se sumerge, se vuelve incapaz de convertir el alcohol en ácido acético. Por otra parte, si el suministro de oxígeno es demasiado abundante y la concentración de alcohol demasiado débil, el micoderma destruye el ácido acético formado oxidándolo aún más en dióxido de carbono y agua.

Ilustración de las Obras completas *de Pasteur, referente a la acción del oxígeno del aire sobre el vino. Las investigaciones de Pasteur sobre este tema resultaron muy útiles para mejorar las condiciones de la producción vinícola.*

El conocimiento exacto del mecanismo por el cual se convierte el vino en vinagre tuvo consecuencias prácticas inmediatas. Conociendo la naturaleza viva de la «madre del vinagre» y sus necesidades fisiológicas, los fabricantes de vinagre ya no tuvieron que someterse ciegamente a los antojos imprevisibles de entonces. En lugar de depender de la aparición espontánea, pero lenta y errática, de la película de micoderma en sus tanques, se convirtieron en sus dueños y podían sembrarlo en la superficie del líquido. El método tradicional hacía necesario mantener constantemente la fermentación, alimentando a menudo con más vino los toneles, por miedo a que la película de micoderma se hundiera hasta el fondo, careciera de oxígeno y perdiera su actividad. Acelerando o retardando a voluntad el crecimiento, los productores podían hacer más seguro el proceso, más fácil de dirigir, y podían adaptar la producción de vinagre a las necesidades del mercado. La ciencia biológica había encontrado su lugar en la tecnología industrial.

En 1866 Pasteur publicó un libro titulado *Etudes sur le vin, ses maladies, causes qui les provoquent. Procédés nouveaux pour le conserver et pour le vieillir.* El era oriundo de una región productora de vino y tenía mucho que decir respecto a los factores que afectaban al sabor, la apariencia y las cualidades nutritivas de la bebida.

Como todo el mundo sabe, el añejamiento altera las propiedades del vino, aumentando su sazón, disminuyendo su opacidad, cambiando su color. Mientras que todos los vinos jóvenes son ásperos, un vino adecuadamente envejecido adquiere refinamiento y a veces distinción. Por otra parte, el vino puede perder completamente su fuerza y carácter si el proceso de añejamiento llega demasiado lejos. Pasteur se preguntó entonces: ¿Qué ocurre en el vino que envejece normalmente, en ausencia de microorganismos productores de enfermedad, y cómo puede controlarse el proceso de añejamiento?

Los fabricantes prácticos de vinos, así como los químicos, seguían convencidos todavía de que el acceso no graduado de aire perjudicaba la producción de vino. El análisis químico reveló que el oxígeno desaparecía rápidamente de la atmósfera que se hallaba en contacto con el vino tanto en los lagares como en las botellas. Como la entrada de más aire se asociaba frecuentemente con una pérdida de calidad, haciéndola coincidir con la absorción del oxígeno, parecía justificada la conclusión de que el hecho de que se estropease el aroma era un resultado de la oxidación. En consecuencia, se ponía gran cuidado a lo largo de las operaciones de fabricación del vino para exponerlo al aire sólo lo absolutamente necesario para la decantación. Pasteur demostró que el papel del aire en el añejamiento del vino es, en realidad, bien complejo, y está formado cuando menos por dos efectos independientes. Por un lado, el oxígeno tiene un efecto perjudicial sobre la calidad al estimular el crecimiento de ciertos microorganismos que lo contaminan. Por otra parte, cuando actúa solo, libre de cualquier acción microbiana, el oxígeno puede tener una acción beneficiosa. Libra al vino nuevo del sabor ácido y áspero haciéndolo más adecuado para la bebida; precipita lentamente algunas de las materias colorantes que lo oscurecen, dándole finalmente

ese tono de hoja de cebolla, que es tan alabado cuando se alcanza el grado adecuado. El oxígeno es el que produce la calidad del vino añejo, pero si se deja que el proceso de añejamiento vaya demasiado lejos, acaba por estropear el vino que comenzó mejorando.

Pasteur diseñó experimentos sencillos para ilustrar la relación del oxígeno con el añejamiento del vino:

Supongamos que se introduce en una botella de cristal vino saturado con dióxido de carbono hasta llenarla completamente, con precauciones tales que el líquido nunca llegue a estar en contacto con el aire; supongamos también que la botella se cierra herméticamente con cera. Este vino conservará su color y sabor originales; no se añejará y se mantendrá como vino áspero, porque el vidrio y la cera lo protegen completamente del acceso del aire. Sin embargo, si vaciamos hasta la mitad la botella y la cerramos con un tapón ordinario, tiene lugar a través del corcho un cambio gaseoso en grado significativo, y el oxígeno alcanza lentamente al vino. Poco a poco va apareciendo un depósito amorfo consistente en una materia de color rojizo, y simultáneamente cambia el aroma. Puede cambiar completamente el color al palidecer —así como el aroma— si es demasiado alta la cantidad de aire en la botella.

La lectura cuidadosa de todas las páginas que Pasteur dedicó al proceso de añejamiento no deja ninguna duda de lo mucho que le agradó el estudio de los factores que afectan la calidad del vino. Los *Etudes sur le vin* describen extensamente el uso de técnicas químicas: para deter-

Ilustración de Etudes sur le vin, *de Pasteur, que alude a una enfermedad del vino de Burdeos cuidadosamente investigada por el científico. En esta obra, Pasteur trató de encontrar explicaciones científicas a muchas observaciones realizadas tradicionalmente por los viticultores franceses.*

minar la concentración de alcohol, glicerina, ácido tartárico, ácido succínico, gomas y azúcar que están presentes en el vino, y para seguir los cambios en la composición del aire a que está expuesto. Se discuten con gran detalle los métodos nuevos y antiguos para la fabricación del vino, tanto por tener una relación con el problema que se discute como por su propio interés. Así, aprendemos que en ciertas regiones se usaba la práctica de agitar vigorosamente las uvas aplastadas, antes de la fermentación, con el fin de obtener previamente cierta forma de añejamiento del vino. Menciona Pasteur su costumbre de discutir con los labradores sus procedimientos empíricos con el propósito de encontrar una base racional en las prácticas consagradas por el tiempo.

«En todos los países y en todas las épocas, según se ve en los escritos de los agricultores latinos, los fabricantes de vino han encontrado una relación entre la vida del vino y la de la uva. Pretenden que cuando la vid florece, hacia el 15 de junio en la región del Jura, el vino está trabajándose, y otro tanto sucede en agosto, cuando la uva comienza a madurar. Se inclinan a creer que existe una correlación misteriosa entre estas circunstancias. En realidad, son éstos los períodos en que se presentan variaciones en la temperatura de las bodegas, y los cambios en la actividad fermentativa encuentran probablemente su explicación en estos cambios de temperatura. ¿Qué importa si el labrador cree en un mito? Sólo tenemos que considerar el hecho en sí, porque nos sirve de guía en ciertas prácticas de la vinificación.

»Los escritos más antiguos recomiendan hacer el primer trasiego en el mes de marzo, cuando sopla el viento del norte y no el del sur, que es viento de lluvia, por lo menos en el Jura. No desechen esta práctica como un prejuicio... En mi opinión, tiene una base racional. El vino, especialmente el vino joven, está sobresaturado con anhídrido carbónico. Si está baja la presión barométrica durante varios días, el vino dejará que se escape el gas. Subirán del fondo de los toneles pequeñas burbujas que llevan consigo algo del depósito más fino. Entonces el vino estará menos claro que si lo trasegamos en un día que la presión barométrica tiende a aumentar la solubilidad de los gases en los líquidos...»

Como un viticultor de Arbois le asegurara que el viento del norte afectaba tanto al vino como al agua del río Cuisance, Pasteur se apresuró a buscar una explicación.

«El río Cuisance, que pasa por Arbois, tiene sus fuentes pocos kilómetros más allá, en un terreno calizo. Su agua está cargada con carbonato cálcico disuelto gracias al dióxido de carbono que contiene. En los días lluviosos, el agua del río se hace menos clara. ... Algunas veces parece que sube el moho del fondo. Por el contrario, cuando sopla el viento del norte, se puede ver una aguja a una profundidad de varios metros. ¿No confirma esto la explicación que acabo de darles respecto a la conveniencia de trasegar el vino con el viento del norte?»

A pesar del obvio interés de Pasteur en los variados aspectos tecnológicos de la fabricación del vino, la parte más importante de este libro se refiere al estudio de los microorganismos que interfieren en el curso normal de la fermentación.

En condiciones naturales, esto es, no dirigidas, los diferentes procesos de fermentación dan lugar a menudo a productos indeseables. Por ejemplo, puede sobrevenir la acidificación cuando no se desea y estropear las bebidas alcohólicas, o se puede acompañar la conversión de alcohol en vinagre de sustancias volátiles con olor sofocante. No existe una prueba mejor de la revolución que introdujo Pasteur en las ciencias bioquímicas que la comparación del estudio y el control de estas «enfermedades de la fermentación» entre el antes y el después de su trabajo. Antes de él se consideraba la aparición de productos indeseables como el resultado de reacciones químicas imperfectas. Liebig consideraba las enfermedades del vino como debidas a los cambios que constantemente sufría el vino. En condiciones óptimas, decía él, el vino alcanza el final de la fermentación en un punto en que su azúcar y la materia orgánica que le sirve de fermento están consumidas por igual. Si ha habido demasiado poco fermento al principio, queda sin fermentar una parte del azúcar, y el vino resulta dulce, es decir, incompleto. Si ha habido, por el contrario, demasiado poco azúcar, parte del fermento continúa trabajando y produce vicios en el aroma. Esta explicación no era nueva en absoluto: estaba aceptada universalmente, y parafraseada en todos los libros de texto.

Al estar Pasteur convencido de que cada tipo de fermentación estaba causado por un microorganismo específico, contribuyó a la solución del problema con dos conceptos independientes que encontraron una aplicación inmediata en la tecnología práctica. Descubrió que las malas fermentaciones son debidas comúnmente a la contaminación de microorganismos que engendran productos indeseables. Insistió también en que las actividades de un microorganismo determinado están condicionadas por las características fisicoquímicas de su ambiente y que, en consecuencia, aun el propio y adecuado microorganismo puede formar productos indeseables si las condiciones de la fermentación no están adecuadamente controladas. Así, en la fabricación del vinagre, la oxidación del alcohol por el *Mycoderma aceti* puede quedarse corta o pasarse del punto ideal. Si no es adecuado el suministro de oxígeno, la oxidación incompleta da lugar a aldehídos, intermediarios entre el alcohol y el ácido acético, que comunican al producto un olor sofocante. El micoderma vive con dificultad bajo esas condiciones y puede hasta morir. Si hay exceso de oxígeno la oxidación puede llegar demasiado lejos y arruinar el vinagre por convertir el ácido acético en agua y ácido carbónico; puede ocurrir también esto cuando se ha consumido todo el alcohol en el líquido nutricio. Estos ejemplos muestran cómo el comportamiento químico de los microorganismos está regido por las condiciones nutritivas y respiratorias en que viven, y Pasteur no desaprovechó la oportunidad para sugerir que sus observaciones sobre el comportamiento bioquímico del micoderma podían tener cierta correspondencia con las alteraciones de la oxidación que tienen lugar en los tejidos animales.

Estuvo siempre presente en la mente de Pasteur la posibilidad de que condiciones desfavorables del ambiente podían causar alteraciones fisiológicas en otros procesos microbiológicos, y vuelve a repetirlo en ob-

servaciones casuales diseminadas a través de sus escritos. Si las circunstancias no le hubieran centrado en aquellas enfermedades —tanto las de las fermentaciones como las de los animales y el hombre— producidas por microorganismos extraños, hubiera ciertamente avanzado con éxito por el camino de los conceptos modernos de las enfermedades fisiológicas y metabólicas.

Una indicación que ha dejado el hijo de Bigo muestra claramente que Pasteur aprendió pronto a relacionar muchas de las dificultades encontradas en el proceso de la fermentación con la presencia de elementos de forma anormal mezclados con los glóbulos de levadura en los líquidos en fermentación. «Había notado él, por los exámenes microscópicos, que los glóbulos eran redondos cuando la fermentación era saludable, se alargaban cuando comenzaba la alteración y eran en extremo largos cuando la fermentación tomaba carácter láctico. Este método sencillo nos permite vigilar el proceso y evitar los fallos en la fermentación, que eran entonces tan comunes.» Mientras estaba de vacaciones en Arbois, en septiembre de 1858, Pasteur tuvo ocasión de someter a observación microscópica algunos vinos del Jura estropeados y vio en ellos un microorganismo que presentaba similitud morfológica con el organismo del ácido láctico que acababa de descubrir. Esta observación y su experiencia en la destilería de Lille probablemente le ayudaron a concluir que las enfermedades de las fermentaciones estaban causadas por

Otra ilustración perteneciente a Etudes sur le vin, *de Pasteur, que realizó diversos análisis microscópicos de vinos enfermos para investigar los problemas de la fermentación.*

organismos extraños que competían con la levadura en el líquido en fermentación. Sus estudios sobre la producción de ácido acético le proporcionaron pruebas adicionales en este sentido. Uno de los deterioros más comunes en el vino es el agriarse, y no hubo mayor dificultad en reconocerlo como una oxidacióon del alcohol hasta formar ácido acético semejante a la que lleva a cabo el *Mycoderma aceti* durante el proceso del vinagre de vino. Además del agriamiento, hay otros tipos de alteraciones que afectan desfavorablemente a la calidad de los vinos: los vinos de Burdeos se «marean», los de Borgoña se «amargan», los de Champaña se vuelven pegajosos. Afortunadamente, Pasteur estaba en buena posición para probar mediante experimentación su tesis general de que estas enfermedades eran debidas también a la contaminación de organismos extraños, ya que sus amigos de la infancia poseían bodegas bien provistas en Arbois. Allí, en un improvisado laboratorio, sometió a examen microscópico sistemático todos los vinos sanos y enfermos que le enviaban. Desde el comienzo, el éxito premió sus esfuerzos, y siempre que le traían una muestra defectuosa en algún aspecto descubría, mezcladas con las células de levadura, otras formas microscópicas distintas. Se volvió tan hábil en la averiguación de estos gérmenes variados, que pronto fue capaz de predecir el aroma de un vino determinado por el examen de su sedimento. En los vinos «sanos» estaban ausentes las formas extrañas y sólo se veían las células de levadura.

Aunque Pasteur describió muchas especies bacterianas encontradas en los vinos estropeados, no investigó el problema con la profundidad que caracterizó sus investigaciones sobre la producción del ácido acético. Los cambios químicos que tienen lugar durante la producción del vino son más complejos que los que intervienen en la fabricación del vinagre, y aún hoy no se entienden por entero. Se debe a Pasteur, sin embargo, el que se estableciera el hecho de que muchas enfermedades del vino dependen de la actividad de organismos extraños, conclusión que se vio aplicada pronto a las alteraciones de otras bebidas y alimentos.

Además del *Mycoderma aceti*, que convierte el alcohol en ácido acético, se presenta a menudo en los toneles usados en el proceso de Orleans otro organismo microscópico, llamado *Mycoderma vini*, que evita la formación de vinagre convirtiendo el alcohol en anhídrido carbónico y agua. Los toneles contienen también a veces diminutos gusanos, «gusanos del vinagre», que se extienden por la superficie de la mezcla y evitan que el *Mycoderma aceti* obtenga el oxígeno necesario para la conversión del alcohol en ácido acético. Pasteur demostró que el calentamiento suave era suficiente para matar los «gusanos del vinagre» y que era posible superar los competidores indeseables sembrando la mezcla de vino y vinagre con grandes cantidades de una película pura de la madre del vinagre y establecer el *Mycoderma aceti* sobre toda la superficie.

Al igual que el vino y el vinagre, la cerveza solía sufrir entonces alteraciones espontáneas, volverse ácida, o hasta pútrida, especialmente durante el verano. Pasteur demostró que estas alteraciones estaban causadas siempre por organismos microscópicos, y describió sus hallazgos

en un libro publicado en 1876 bajo el tíbulo *Etudes sur la bière, ses maladies, causes qui les provoquent. Procédés pour la rendre inaltérable, avec une théorie nouvelle de la fermentation.* Es entretenido comparar la cantidad de detalles cariñosos incluidos en los estudios sobre el vino con la austeridad de las discusiones del libro sobre la cerveza. Se dice bien poco sobre la práctica cervecera en este libro. La sección intermedia no tiene ninguna relación con la cerveza ni con su fabricación. Se refiere al mecanismo de la fermentación alcohólica, origen, distribución y transformación de los mircroorganismos, todos los problemas teóricos que ocupaban la mente de Pasteur en aquel momento de su vida. El primer capítulo muestra cómo las enfermedades de la cerveza se deben siempre al desarrollo de organismos microscópicos extraños a una buena fermentación, y el último capítulo dice cómo prevenir su aparición. En otras palabras, se enseñaba a los cerveceros cómo evitar que se estropeara la cerveza, pero no cómo hacerla buena. La razón era sencilla: a Pasteur no le gustaba la cerveza. Había emprendido el estudio de la industria cervecera después de la guerra de 1870 simplemente para

Retrato de Pasteur, en 1871, año en el que inició sus estudios sobre la cerveza en el laboratorio de Duclaux.

producir una *bière de la revanche* que pudiera competir con el producto alemán. Duclaux indica que Pasteur se asombraba al ver cómo su amigo Bertin diferenciaba variaciones sutiles de sabor entre diferentes marcas, que él era incapaz de percibir. A pesar de todo, pudo crear técnicas prácticas para el control de las enfermedades de la cerveza.

Después de sus primeras observaciones en las cervecerías francesas, Pasteur decidió visitar uno de los más famosos establecimientos londinenses para confirmar sus hallazgos y extender aún más su evangelio. El relato que ha dejado de su visita a la cervecería Whitbread, de Londres, revela la fuerza de sus convicciones y el arrojo con que las sometía a pruebas prácticas.

«En septiembre de 1871 se me permitió visitar una de las grandes cervecerías de Londres. Como ninguno de los allí presentes estaba familiarizado con el estudio microscópico de la levadura, les pedí realizarlo en presencia de los encargados. Mi primera prueba se realizó con algo de levadura de cerveza negra, obtenida de la salida de uno de los tanques de fermentación. Encontré que había en ella abundantes microorganismos de contaminación... Concluí, por lo tanto, que la cerveza negra no era buena, y, efectivamente, se me indicó que había sido necesario obtener aquel mismo día una nueva muestra de levadura de otra cervecería. Examiné esta última al microscopio y encontré que era más pura que la muestra antigua.

»Pedí entonces estudiar las levaduras de otras cervezas en curso de fermentación, en particular de la cerveza ligera inglesa y de la cerveza clara. Aquí está el dibujo que hice entonces. Reconoce uno en seguida los filamentos de la cerveza estropeada. Resultaba interesante estudiar las cervezas que habían sido producidas inmediatamente antes de aquellas cuyas levaduras acababa de examinar.

»Me dieron dos clases, ambas de barril... Una estaba ligeramente turbia; al examinar una gota de ella, reconocí inmediatamente tres o cuatro filamentos de contaminación en el campo del microscopio. La otra estaba casi clara, pero no brillante; contenía aproximadamente un filamento por campo. Estos hallazgos me volvieron lo suficientemente atrevido como para señalar en presencia del maestro cervecero, que había sido llamado, que aquellas cervezas se estropearían rápidamente... y que ya deberían de tener un sabor algo defectuoso, sobre lo cual todos estuvieron de acuerdo, aun cuando después de largos titubeos. Atribuí estos titubeos a la reserva natural de un fabricante a quien uno obliga a declarar que su mercancía deja bastante que desear...

»Los cerveceros ingleses... confesaron que habían tenido en su establecimiento un gran lote de cerveza que se había estropeado completamente en los toneles en menos de dos semanas... Examiné una muestra de ella al microscopio sin encontrar al principio el organismo que la contaminaba; sin embargo, presumiendo que la cerveza se había clarificado como resultado del reposo y que el organismo se había hecho inerte y depositado en el fondo del barril, examiné el depósito, el cual resultó consistir exclusivamente en los organismos contaminantes, sin que llegara a estar mezclado con la levadura alcohólica...

»Cuando regresé a la misma cervecería menos de una semana después, me enteré de que los directores se habían apresurado a adquirir un microscopio y a cambiar todas las levaduras que estaban utilizando cuando mi primera visita.»

Una y otra vez reiteró Pasteur sus puntos de vista acerca del origen de las alteraciones de los líquidos fermentables, y en las siguientes frases resume sus investigaciones, que le condujeron a una solución práctica del problema:

«Hemos mostrado cómo los cambios que se presentan en la levadura de cerveza, en la cerveza nueva sin fermentar y en la cerveza ya fermentada se deben a la presencia de organismos microscópicos de una naturaleza completamente diferente a la de la levadura pura. Estos organismos, debido a los productos resultantes de su multiplicación en la cerveza sin fermentar, en la levadura de cerveza y en la propia cerveza, alteran las propiedades de esta última y actúan en contra de su conservación.

»Hemos demostrado además que los organismos responsables de estas alteraciones, los fermentos de la enfermedad, no aparecen espontáneamente, sino que siempre que están presentes en la cerveza sin fermentar o ya fermentada se debe a que proceden del exterior, bien del polvo del aire, de las vasijas o de los materiales utilizados por los cerveceros.

»Sabemos también que estos fermentos de las enfermedades perecen en el caldo de malta cuando se eleva la temperatura, y, como consecuencia del hecho anterior, hemos visto que cuando el caldo de malta se expone a un aire puro (estéril) no sufre ninguna clase de fermentación después de que se ha hervido.

»Dado que todos los gérmenes de las enfermedades de la cerveza fermentada y sin fermentar se destruyen en las vasijas de cobre en las que se calienta el caldo de malta, y dado también que la introducción de levadura pura en una cerveza pura no puede introducir en esta última ningún fermento extraño de carácter perjudicial, se deduce que es posible preparar cervezas incapaces de engendrar en modo alguno fermentos perjudiciales extraños. Se puede realizar esto siempre que el caldo de malta procedente de las vasijas de cobre esté protegido del aire corriente..., se fermente con levadura pura y se coloque la cerveza en vasijas completamente libres de los fermentos que la contaminan al final de la fermentación.»

Como los microorganismos pueden estropear el vino, el vinagre y la cerveza, es esencial evitar el introducirlos durante o después del proceso de fabricación, prevenir su multiplicación, o matarlos después de que se han llegado a introducir. La inclusión de microorganismos extraños en el producto acabado puede reducirse con un control inteligente y riguroso de las operaciones técnicas, pero no puede prevenirse del todo. Por lo tanto, el problema consiste en inhibir el desarrollo posterior de estos organismos una vez que han sido introducidos en el líquido fermentado. Con este fin, Pasteur trató de añadir al principio una variedad de antisépticos, especialmente los hipofosfitos y bisulfitos, que no tienen

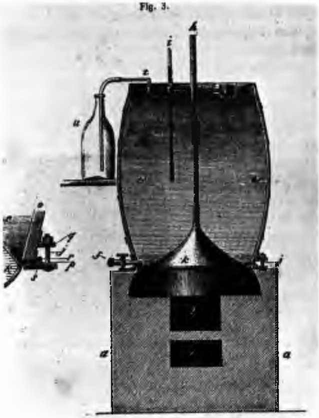
ni olor ni sabor demasiado desagradales en soluciones diluidas, y que por oxidación se convierten en fosfatos y sulfatos no tóxicos. Sin embargo, los resultados fueron mediocres o negativos, y después de mucho dudar, consideró la posibilidad de utilizar el calor como un agente esterilizador.

Había que tenerle mucho miedo al efecto perjudicial del calor sobre los líquidos fermentados, especialmente sobre el vino, pues no se necesita ser un catador para comprender que el «vino cocinado» ya no es verdadero vino. Afortunadamente, el conocimiento de Pasteur sobre la susceptibilidad de los microorganismos al calor le sugirió que el problema no era tan desesperanzador como a primera vista parecía. Sabía que el vino está siempre ligeramente ácido y que el calor es un desinfectante mucho más efectivo en medio ácido que neutro; así, se descubrió que temperaturas tan bajas como la de 55 °C eran suficientes para mejorar la preservación del vino corriente. Basándose en investigaciones anteriores sobre la acción del aire en el añejamiento del vino, Pasteur concluyó que el calor no tiene por qué afectar en forma perjudicial el sabor del vino si se aplica únicamente una vez agotado el oxígeno originalmente presente en la botella, y esta presunción se demostró que era cierta. Estas consideraciones condujeron al proceso de esterilización parcial, que bien pronto se conoció en todo el mundo por el nombre de «pasterización», y que se aplicó al vino, cerveza, sidra, vinagre, leche y un número incontable de bebidas, alimentos y productos orgánicos que pueden descomponerse.

Era típico de Pasteur el que, al no quedarse satisfecho con formular las bases teóricas del proceso de esterilización por el calor, se sintiese impulsado a participar con activo interés en describir un equipo industrial adaptado al calentamiento de grandes volúmenes de líquidos a bajo costo. Sus tratados sobre el vinagre, el vino y la cerveza están ilustrados con dibujos y fotografías de este tipo de equipo, y describe con detalle las operaciones correspondientes al proceso. La palabra «pasterización» es, en verdad, un símbolo de su vida científica; recuerda la parte que desempeñara en el establecimiento de las bases teóricas de la teoría microbiana y el esfuerzo fenomenal que dedicó a hacerlo útil para el prójimo. Nos recuerda también la frase que repitió a menudo: «No hay tal cosa como una ciencia pura y otra aplicada; sólo hay una ciencia y las aplicaciones de esa ciencia.»

El proceso de la pasterización fue atacado bien pronto desde diferentes ángulos. El primero en superarse fue el natural titubeo de aquellos que temían que el calor fuera a estropear las cualidades de los vinos finos. Con el genio organizador que mostró en tantas ocasiones, Pasteur estableció una bodega experimental en la cual se conservaban durante períodos de varios años muestras de vinos de diferente origen calentados y sin calentar. A intervalos regulares de tiempo una comisión oficial de catadores comparaba los productos y publicaba informes, que continuamente resultaban favorables a la pasterización. Arregló también que se usaran para comparación en la marina francesa durante largos viajes por mar vinos calentados y sin calentar, y así obtuvo una confir-

Uno de los instrumentos ideados por Pasteur para el tratamiento de liquidos a bajo costo. Pertenece a su libro Etudes sur le vinaigre.



mación adicional de la superioridad de los productos pasterizados. Publicó en periódicos agrícolas descripciones prácticas de su proceso y de su mérito. Para proporcionar todavía más seguridad publicó en forma de diálogo (como se indica en las páginas 78 y 79) la visita del alcalde de Volnay, quien había llegado a él como incrédulo y había salido convertido. Hasta llegó a manifestar con orgullo que su proceso se estaba utilizando con éxito en la lejana California:

«A través de continentes y océanos, deseo enviar mi más sincero agradecimiento a este honesto viticultor de California cuyo nombre lamento no conocer.

»Es alentador el saber que un ciudadano de un país donde no existían vides hace veinte años, para acreditar un descubrimiento francés experimentase de una vez con 100.000 litros de vino. Estos hombres marchan adelante con pasos de gigante, mientras nosotros colocamos tímidamente un pie tras otro, inclinándonos más a menudo a menospreciar un buen hecho que a honrarlo.»

Mientras Pasteur tenía que luchar para establecer la practicabilidad y seguridad de la esterilización parcial por el calor, se dirigía en su contra mientras tanto la acusación de que el proceso no era nuevo: que Appert, en particular, había mostrado que se podía calentar el vino sin que

se alterara su gusto. Tan pronto como se enteró de estos antiguos experimentos, les reconoció su importancia, pero señalando que existían diferencias teóricas y prácticas entre el procedimiento de Appert y el suyo. Habiéndosele dicho que el calentamiento del vino se había practicado desde hacía mucho tiempo en Mèze, en el sur de Francia, se apresuró a ir allí para investigar la cuestión. «Sí, calientan el vino en Mèze, pero es para añejarlo más aprisa. Con este fin, lo calientan en contacto con el aire durante largo tiempo, hasta que obtienen cambios en el sabor, que a veces se pasan del límite y hay que corregirlos. Este andar a tiendas en la oscuridad indica que los comerciantes de vinos de Mèze no tienen una idea exacta de lo que hacen y que no han leído mi libro. Va en su propio interés el hacerlo, pues expongo la teoría y la práctica. Además ¿qué tiene en común este calentamiento largo y peligroso en contacto con el aire con el calentamiento rápido a 50 °C, protegido del aire, que yo recomendé?»

Hubo otras reclamaciones de prioridad que llevaron a enconadas controversias públicas. Pasteur debía de haber sido inteligente y confiar en el juicio del tiempo, pero la fe profunda es siempre un poco intolerante, y tal era su fe. Estas polémicas carecen hoy de interés, excepto por el hecho de que nos revelan la debilidad fundamental de las prácticas empíricas comparadas con aquellas basadas en una teoría racional. El calentamiento del vino se había realizado esporádicamente desde la antigüedad, y algunos viticultores sabían que podía hacerse en ciertas condiciones sin estropear el aroma del producto. Pero fue Pasteur el primero en proporcionar la base racional para un procedimiento empírico, estableciendo que ciertas alteraciones estaban causadas por microorganismos contaminantes y que se podían inhibir estos organismos por el calor. Sus estudios teóricos le condujeron a dar normas y técnicas seguras para la conservación no solamente del vino, sino también de otros líquidos que se descomponen.

El cuerpo general de conocimientos y de técnicas sobre los cuales se basaba la teoría microbiana de la fermentación era accesible desde mucho tiempo atrás, y lo único que sorprende es que el mundo científico rehusara aceptar la obvia interpretación de los hechos ya conocidos. Al intentar demostrar en su trabajo que todos lo fenómenos fisiológicos podían interpretarse en términos de reacciones fisicoquímicas, los adversarios de la teoría no deseaban tener en cuenta la vida en los procesos que estudiaban y, en consecuencia, no pudieron reconocerla bajo la forma de la levadura u otros fermentos. Debido a una razón similar, Pasteur no había reconocido unos años antes en el ácido málico sintético una mezcla análoga a la que él mismo había separado en sus componentes derecho e izquierdo, porque no creía que pudieran sintetizarse en el laboratorio compuestos ópticamente activos a partir de antecedentes inactivos. La mente puede ser un faro de luz penetrante que revela muchos de los escondidos misterios del mundo; pero, desgraciadamente, a menudo produce tal deslumbramiento que impide a los ojos ver cosas naturales que pudieran servir como indicios para seguir el camino de la naturaleza.

Para sobrepasar la formidable filosofía fisicoquímica de la época se necesitaba mucha perspicacia, valor intelectual y fortaleza. De hecho, asombra hoy en día que Pasteur, entonces todavía un hombre joven conocido de unos pocos químicos, se atreviera a desafiar a Liebig en su propio terreno y se las arreglara para imponer en unos pocos años la teoría vital de la fermentación al público científico y al profano. El que se atreviera es un indicio de su temperamento luchador y de su fe en lo correcto de su juicio intuitivo, pues carecía de pruebas acerca de la naturaleza viva de la levadura cuando se alineó al lado de Cagniard de la Tour, Schwann, Kützing y Turpin. El que tuviera éxito tan pronto se debió a su habilidad como experimentador y al vigor de su lucha.

Como se recordará, todo el entrenamiento y experiencia de investigación previa había tenido lugar en el campo de la fisicoquímica y la química orgánica. Y sin embargo, al cabo de pocas semanas utilizaba el ataque experimental y las técnicas de biólogo, usando el microscopio no sólo para investigar las sustancias químicas, sino también para aclarar la naturaleza de los agentes que intervienen en el proceso de la fermentación. Del mismo modo que el estudio de la fermentación y la putrefacción se consideraba entonces terreno del químico, el conocimiento de la vida microbiana era la especialidad de unos pocos botánicos interesados en la descripción de las formas microscópicas como curiosidades biológicas, con una remota idea a lo sumo de sus actividades químicas. Constituyó, por lo tanto, una hazaña intelectual extraordinaria el que Pasteur fuera capaz de adoptar inmediatamente el punto de vista biológico sin inhibirse por el temor o la inercia que ha de vencer el investigador cuando pasa de una disciplina de laboratorio a otra. El vigor intelectual que requiere esta actitud puede no resultar obvia para el hombre moderno, quien, a través de la educación y la publicidad, se ha vuelto superconsciente de la ubicuidad de gérmenes vivos en el mundo que le rodea y de su papel como agentes de la fermentación, putrefacción, descomposición y enfermedad. Sin embargo, en 1857, el químico que adoptaba la teoría vital de la fermentación tenía que enfrentarse con los mismos problemas extraños que afrontaría hoy un ingeniero de telefonía interesado en desarrollar el uso de la telepatía en la transmisión del pensamiento.

Tan pronto como Pasteur quedó convencido de que los microorganismos vivos eran la causa primaria de la fermentación y la putrefacción, diseñó los medios para reconocerlos y estudiarlos y demostró que casi se podían controlar sus actividades a voluntad. Así, como resultado de la teoría microbiana, emergieron incontables experimentos y prácticas industriales mejoradas, mientras que por otro lado la teoría de Liebig carecía de valor operativo. Aun cuando fuera dignificada con el nombre de teoría catalítica por Berzelius, la idea de que las sustancias orgánicas en descomposición impartían una agitación a las moléculas de azúcar que las convertía en alcohol, ácido láctico o ácido butírico no condujo a ningún experimento nuevo y no ayudó en nada a la tecnología de la fermentación. De hecho, el contraste entre la desnudez de la teoría química y la riqueza en consecuencias teóricas y prácticas que se de-

dujeron de la teoría microbiana aseguró el rápido crecimiento de esta última tan pronto como encontró en Pasteur un dirigente decidido.

Se ha dicho que las teorías de Berzelius y de Liebig se acercaron más al entendimiento de la teoría de la fermentación que la teoría vital. Realmente, en 1897, como se dirá más adelante, Büchner consiguió extraer de la levadura un jugo sin vida capaz de convertir el azúcar en alcohol. Se vio que la teoría catalítica de Berzelius era correcta en lo fundamental, y que el extracto de levadura de Büchner estaba un paso más cerca de la causa última de la fermentación que la levadura viva de Pasteur. También es verdad, sin embargo, que no se podía hacer en 1860 ningún avance en el entendimiento de la fermentación mientras no se hubieran visto las actividades químicas de los microorganismos y hasta que se hubieran elaborado técnicas para el estudio y control de la vida microbiana. Además, en sus actividades, los hombres no están gobernados por el interés hacia las verdades últimas, sino más bien por el sentido común. Liebig podía declarar que invocar el vitalismo era tanto como dar un paso atrás; los contemporáneos creyeron en Pasteur porque el interés por la naturaleza viva de la levadura y los fermentos producía resultados útiles. Los hombres pueden proponer toda suerte de filosofías en sus discursos, pero, en general, actúan pragmáticamente. A lo largo de su vida, Pasteur fue asombrosamente práctico en sus operaciones; para él, una teoría era correcta mientras resultaba útil en acción. En 1860, la teoría microbiana era más útil que la teoría química porque se adaptaba mejor al descubrimiento de nuevos hechos científicos y al mejoramiento de las prácticas industriales.

Hay algo patético en los últimos intentos de Liebig de defender sus puntos de vista contra los de Pasteur. Después de muchos años, no le fue posible contribuir con un solo hallazgo positivo mediante el cual afirmar el mecanismo de fermentación que sostenía. En su larga memoria de 1869, sólo consiguió señalar su incapacidad para obtener la fermentación y la multiplicación de la levadura en un medio sintético libre de nitrógeno orgánico. Es probable que su fracaso se debiera al hecho de que intentó repetir los experimentos de Pasteur con una cepa de levadura que tenía unas necesidades nutritivas tan precisas que el medio suministrado no era satisfactorio. Como no creía en la posibilidad de que la levadura creciera en ausencia de materias albuminoideas, Liebig no se tomó la molestia de resolver los problemas técnicos que le hubieran permitido repetir los resultados de Pasteur. En la misma memoria señala que la bacteria *Mycobacterium aceti*, que según Pasteur era la responsable de la producción del ácido acético, no se encontraba presente en las fábricas alemanas de vinagre; pues, decía él, «en las virutas de madera que se han usado durante veinticinco años en una gran fábrica de vinagre de Munich no hay señal visible de micoderma, aun cuando se observen al microscopio». Liebig estaba equivocado; no pudo hallar el micoderma porque no quería verlo. Este gran hombre, cuya visión, saber y energía habían fundado la ciencia de la bioquímica, ofrece con particular agudeza el espectáculo trágico de una mente brillante que se hace esclava de ideas preconcebidas y se deja cegar por ellas.

Pasteur contestó a la memoria de Liebig con una pequeña nota en la cual desdeñaba el seguir la discusión y en su lugar iba derecho a los hechos. Liebig dudaba de la validez de dos de sus opiniones. Pasteur le desafió a llevar la cuestión a una comisión de científicos ante los cuales se sometieran estos hechos a una prueba objetiva. Ofrecía preparar en un medio exclusivamente mineral tanta levadura como Liebig solicitara dentro de un límite razonable y demostrar la presencia de *Mycoderma aceti* en todas las virutas de haya de la fábrica de vinagre de Munich. Sugirió también que los fabricantes de Munich hicieran hervir los tanques que contenían las virutas de haya y luego volviesen a introducir el alcohol en ellos. En estas condiciones, afirmó, no se produciría ningún vinagre porque las bacterias estarían muertas por el calor. Liebig ignoró el desafío, y nunca contestó, bien porque estaba convencido o, lo que es más probable, porque estaba abrumado ante el mayor vigor de su oponente. La teoría microbiana de la fermentación ganó inmediatamente una aceptación universal. La microbiología, que hasta entonces había sido la extraña ocupación de unos cuantos botánicos, se convirtió en pocos años en una de las ramas de las ciencias biológicas con más rápido crecimiento. Se había descubierto un nuevo escondite de la vida, y su exploración y explotación dio lugar a uno de los períodos de auge de la biología.

La teoría establece que, en una gran parte, las transformaciones de la materia orgánica se llevan a cabo merced a la actividad de los microorganismos. Para cada tipo de transformación existen uno o varios tipos de organismos especializados en la ejecución de las reacciones químicas que constituyen la transformación. Cada tipo microbiano se caracteriza no sólo por su comportamiento como un agente químico, sino también por el hecho de que exige condiciones extremadamente selectivas para la actividad y creciminento óptimos. Aprovechando esta selectividad en sus necesidades, el hombre se ha convertido en amo de la vida microbiana, favoreciendo la forma adecuada de hacerlo al proporcionarle condiciones óptimas para su multiplicación y actividad y reprimiendo otras al crear para ellas un ambiente desfavorable. Hasta puede llegar a modificar algo las reacciones químicas que acompañan la vida microbiana modificando las condiciones en las cuales crecen y llevan a cabo sus actividades químicas los microorganismos. Por ello la fermentación y la putrefacción ya no son transformaciones vagas y sin control, cuyas causas y orígenes son indeterminados, que tienen lugar al azar y bajo la influencia de materia orgánica mal conocida; son fenómenos predecibles debidos a la existencia y actividad de agentes microbianos específicos que pueden ser domesticados para que funcionen de acuerdo con las necesidades y los deseos del hombre. Tal era el tema capital que iba a desarrollar Pasteur durante el resto de su carrera científica. Con él comenzó la domesticación de la vida microbiana.

6. La generación espontánea y el papel de los gérmenes en la economía de la naturaleza

«Omne vivum ex vivo.»—HARVEY

«—¿Por qué, entonces —preguntó el sirio—, citas a Aristóteles en griego?

—Porque es más sabio —respondió el erudito— citar lo que uno no comprende del todo en el lenguaje que uno entiende menos.»—VOLTAIRE

Es una observación común el que todas las plantas y todos los animales sufren una descomposición para volver a formar parte de la envoltura del suelo, agua y atmósfera de la superficie de la tierra. Si cualquier componente de la vida orgánica permaneciera sin destruirse y se permitiera su acumulación, pronto cubriría el mundo y aprisionaría en su masa inerte los elementos químicos esenciales para la continuidad de la vida. Sin embargo, no hay peligro de esto. Las sustancias de origen animal o vegetal jamás se acumulan en la naturaleza, ya que cualquier producto orgánico que llega al suelo o al agua sufre, tarde o temprano, una serie de transformaciones que lo degradan en compuestos cada vez más simples: agua, anhídrido carbónico, hidrógeno, amoniaco, nitrógeno elemental, sales minerales. De esta manera, después de la muerte, los elementos químicos regresan a la naturaleza para contribuir a la nueva vida. «Polvo eres y en polvo te convertirás.»

El eterno movimiento a partir de la vida, a través de la materia orgánica, y de nuevo a través de la vida, ha inspirado los salmos y los versos de los poetas, y los hombres de ciencia han sabido desde mucho tiempo atrás que dicho movimiento resulta esencial para la vida sobre la superficie de la tierra. Antes de la era microbiológica, sin embargo, el ciclo de la materia orgánica estaba rodeado de misterio, tal como aparece en una nota encontrada después de la muerte de Lavoisier entre sus manuscritos inéditos:

«Las plantas extraen del aire que les rodea, del agua, y en general del reino animal, todas las sustancias necesarias para su organización.

»Los animales se alimentan bien sea de plantas o de otros animales que a su vez se han alimentado de plantas, de modo que las sustancias que los constituyen se originan, según un análisis final, del aire o del reino mineral.

»Finalmente, la fermentación, la putrefacción y la combustión devuelven sin cesar a la atmósfera y al reino mineral los principios que tan-

to las plantas como los animales recibieron de éste. ¿Cuál es el mecanismo a través del cual realiza la naturaleza esta maravillosa circulación de materia entre los tres reinos?»

Durante las primeras seis décadas del siglo XIX, los químicos habían descrito cada vez con mayor detalle las transformaciones químicas mediante las cuales los constituyentes químicos obtenidos del aire y del reino mineral se convierten en las sustancias que forman las plantas y los animales; pero el mecanismo por el cual regresa la materia organizada a la naturaleza después de la muerte se entendía tan poco en 1860 como en la época de Lavoisier.

Sin embargo, una vez que se demostró que la fermentación y la putrefacción estaban causadas por microorganismos vivos, se puso en claro que muchas otras transformaciones de la materia orgánica podían ser el resultado de las actividades de la vida microbiana. Pasteur vio inmediatamente las amplias proyecciones del nuevo punto de vista, y presentó su interpretación del tema de Lavoisier en una carta escrita en abril de 1862 al ministro de Educación Pública. Se le aparecía con tintes dramáticos la visión de un ciclo cósmico de la materia orgánica, llevado a cabo eternamente por microorganismos infinitamente pequeños. Lo que Lavoisier había dicho en pocas palabras, en el lenguaje disciplinado de la Ilustración, Pasteur lo elaboró con la vehemencia de los profetas. Hasta en la ciencia, la redundancia del período romántico había sustituido a las restricciones clásicas.

«Sabemos que las sustancias extraídas de las plantas fermentan cuando quedan abandonadas y desaparecen poco a poco en contacto con el aire. Sabemos que los cadáveres de los animales sufren la putre-

Imagen de la obra Annales d'hygiène publique et médecine légale. *Paris, 1829.*

facción y pronto sólo quedan sus esqueletos. Esta destrucción de la materia orgánica muerta es una de las necesidades para la perpetuación de la vida.

»Si no fueran destruidos los restos de plantas y animales muertos, la superficie de la Tierra quedaría pronto recubierta de materia orgánica, y la vida se haría imposible porque el ciclo de transformación... ya no se podría cerrar.

»Es necesario que la fibrina de nuestros músculos, la albúmina de nuestra sangre, la gelatina de nuestros huesos, la urea de nuestras orinas, la materia leñosa de las plantas, el azúcar de los frutos, el almidón de las semillas... se transformen lentamente hasta alcanzar el estado de agua, amoniaco y anhídrido carbónico, de forma que estos principios elementales de las sustancias orgánicas complejas vuelvan a ser recogidos por las plantas, elaborados de nuevo, sirvan como alimento a nuevos seres vivos semejantes a los que les dieron vida, y así continúen *ad infinitum* hasta el fin de los siglos.»

Pasteur esbozó en la misma carta su credo acerca del papel preponderante que desempeñan los agentes microbianos en la economía de la naturaleza y en el origen de la enfermedad. Sin negar que las fuerzas químicas corrientes pueden atacar lentamente la materia orgánica, afirmaba que la descomposición estaba causada principalmente por «seres vivos microscópicos, dotados de propiedades especiales para la disociación de sustancias orgánicas complejas, o para la combustión lenta con fijación de oxígeno». Así, apuntaba, «cuando el zumo azucarado de una planta o fruto se abandona a sí mismo, el aire le trae una levadura que transforma el azúcar en alcohol y anhídrido carbónico; luego intervienen otros agentes microbianos que oxidan el alcohol hasta ácido acético, y luego otros que completan el proceso de oxidación hasta anhídrido carbónico, devolviendo así prácticamente todo el carbono inicialmente presente en el azúcar a la atmósfera, donde queda de nuevo a disposición del crecimiento de las plantas. El hombre, al interrumpir la oxidación del azúcar bien en su estadio alcohol o de ácido acético, estableció empíricamente las industrias que le dan el vino, la cerveza, o el vinagre..., y así se hace obvio... cómo la ciencia pura... no puede avanzar un paso sin que dé lugar, tarde o temprano, a aplicaciones industriales». Pasteur también vio claramente que «el estudio de los gérmenes ofrece muchas relaciones con las enfermedades de los animales y de las plantas, de modo que en realidad constituye el primer paso en la... investigación seria de las enfermedades pútridas y contagiosas», y anunció en estas palabras el programa al que iba a dedicar el resto de su vida científica: «La prosecución, mediante la investigación rigurosa, del estudio acerca de lo que tiene, en mi opinión, un papel fisiológico inmenso, el efecto de lo infinitamente pequeño en la economía general de la naturaleza.»

Tenía que ser contestada una cuestión fundamental antes de que se hiciera posible una «experimentación rigurosa». ¿De dónde venía este «infinitamente pequeño»? ¿Se originaba de progenitores semejantes a él? ¿O se originaba *de novo* siempre y cuando fueran favorables las condi-

ciones para su existencia? De este modo Pasteur se vio impulsado a considerar el problema del origen de la vida microbiana y quedó envuelto en la controversia de la generación espontánea.

Bajo miles de símbolos, los hombres de todas las religiones y credos han descrito y cantado el repetido emerger de la vida a partir de la materia inanimada. Hay una fascinación poética en la antigua creencia de que la vida está siempre engendrándose de nuevo a partir de la materia, como Afrodita surgió de la espuma del mar. Los hombres han creído siempre, y todavía lo creen muchos, que la vitalidad es una propiedad indestructible; que todas las cosas vivas están compuestas de partes orgánicas, eternas en sí y capaces de entrar en las más diversas composiciones para crear la vida de nuevo. La generación espontánea, según las ideas que prevalecían aún en el siglo XIX, era la recombinación de algunas de estas unidades de la vida fundamentalmente eternas liberadas gracias a la muerte previa de otra cosa viva.

A lo largo de las antiguas civilizaciones, la Edad Media y el Renacimiento, se creía generalmente que las plantas y los animales podían engendrarse *de novo* bajo ciertas circunstancias peculiares; que las anguilas procedían sin padres del fango de los ríos y las abejas de las entrañas de los toros muertos. Se llegaban a encontrar misteriosas fórmulas para la creación de la vida aun en los libros eruditos, y hasta el siglo XVI el celebrado filósofo Van Helmont afirmaba que se podían crear ratones poniendo en un recipiente unos trapos sucios junto con algunos granos de trigo o un pedazo de queso.

Lentamente, los hombres fueron cesando en la creencia de la generación espontánea de gorgojos, gusanos, lombrices y ratones, pero se mantuvo la opinión general de que la vida microbiana que pulula en los líquidos en putrefacción y fermentación era el resultado de alguna forma de generación espontánea. Y en verdad se observaba a menudo que aparecían bacterias incontables en recipientes de caldo o de leche, que se habían calentado previamente para destruir las formas vivas, siempre que el caldo o la leche se estropeaban. Estas bacterias eran tan pequeñas y aparecían tan simples en su estructura que parecían estar en el umbral de la vida. ¿No era posible, por lo tanto, que se engendrasen a partir de la materia orgánica inanimada? ¿No eran lo suficientemente primitivas como para resultar excluidas de la ley *omne vivum ex vivo?* La experimentación de este problema comenzó hacia 1750 y se continuó durante más de un siglo. Algunos experimentadores, como el sacerdote católico irlandés Needham, proclamaban que podían obtener a voluntad la creación de agentes microscópicos vivos en las infusiones que habían sido esterilizadas por el calor, mientras que otros, siguiendo al abate Spallanzani, mantenían que la vida no se podía jamás engendrar de la materia inanimada. Naturalistas, filósofos y hombres de mundo mantuvieron viva la discusión contribuyendo a ella con observaciones y experimentos, así como con razonamientos religiosos y filosóficos. En el artículo «Dios» del *Dictionnaire Philosophique,* el escéptico Voltaire se divertía ante la idea de que el padre Needham proclamara su habilidad para crear la vida, mientras que los ateos, por otra parte, «negaran al

Creador y se atribuyeran, sin embargo, a sí mismos el poder de crear anguilas». A pesar de experimentos laboriosos y más aún de agotadoras discusiones, el problema permaneció sin solución definitiva, mostrando claramente cada uno de los adversarios que los otros estaban equivocados en algunos detalles, pero fracasando en demostrar que ellos mismos tenían razón en todos los puntos.

Se sabía que infusiones orgánicas susceptibles de putrefacción en las cuales se había destruido la vida por un calor prolongado a alta temperatura permanecían a menudo sin estropearse, y por lo general, no se desarrollaba en ellas vida microscópica, mientras estuvieran protegidas del contacto del aire. La mera admisión del aire, sin embargo, era suficiente para hacer que los líquidos entraran en putrefacción o fermentación, y hacer que aparecieran en pocos días gran variedad de microorganismos. Los creyentes de la generación espontánea veían en estos cambios la evidencia de que era necesario el oxígeno para iniciar la generación de la vida. Por el contrario, sus adversarios proclamaban que el aire simplemente introducía en los líquidos orgánicos los gérmenes vivos de la putrefacción y la fermentación. Para probar esta última tesis, Franz Schülze en 1836 y Theodor Schwann en 1837 pasaban aire a través de potasa cáustica o ácido sulfúrico concentrado, o lo calentaban a una temperatura muy alta, con el fin de destruir los hipotéticos gérmenes vivos antes de admitirlo en el líquido orgánico. Y en realidad, en estas condiciones, los líquidos permanecían a menudo sin alterarse y los agentes microscópicos no aparecían.

En 1854, y de nuevo en 1859 y 1861, se introdujo gracias a Heinrich Schröder y a Theodor von Dusch una interesante modificación de estos experimentos. En lugar de calentar el aire o arrastrarlo a través de ácido sulfúrico antes de permitir que entrara en la solución, estos autores simplemente lo filtraban a través de tapones de algodón, como había sido realizado unos pocos años antes por el químico Loewel. Este había descubierto que se podía privar al aire de su habilidad para inducir la cristalización de soluciones sobrenaturales si se le hacía pasar a través de un tubo largo relleno de algodón. Análogamente, Schröder y Von Dusch descubrieron que cuando se hierve la carne en agua y recibe continuamente aire fresco a través del tubo con algodón se conserva sin alterarse y sin olor desagradable ni pululación microbiana durante largos períodos de tiempo.

Estas observaciones sugerían claramente que los gérmenes de la fermentación y la putrefacción eran introducidos por el aire en las infusiones orgánicas y que no se engendraban allí *de novo*. Desgraciadamente, cualesquiera que fueran las precauciones que se tomaban para destruir o excluir estos gérmenes, los experimentos fallaban, de vez en cuando aparecía la vida microbiana y se producían la fermentación y la putrefacción. Estos fracasos tambaleaban la fe de muchos, y a menudo la de los propios experimentadores. Así, Schröder y Von Dusch tenían particular dificultad en proteger la leche y la yema de huevo de la putrefacción y deducían que los gérmenes de la putrefacción procedían de las propias sustancias y se derivaban de los tejidos animales. Como se

menciona en un capítulo anterior, hasta Helmholtz había descubierto que se hacía necesario llegar a una conclusión semejante. La posibilidad de que tuviese lugar la generación espontánea en el caso de la putrefacción dejaba claramente abierta la puerta para la posibilidad de que sucediera en todas las otras formas de actividades microbianas.

Este confuso estado de cosas hizo crisis en 1858 cuando Félix Archimède Pouchet leyó ante la Academia de Ciencias de París un trabajo donde proclamaba que había producido la generación espontánea a voluntad admitiendo aire en la materia putrescible, esterilizada bajo condiciones cuidadosamente seleccionadas. Pouchet era director del Museo de Historia Natural de Rouen y miembro honorario de muchas sociedades científicas. Según Tyndall, era «ardiente, trabajador, erudito, lleno no sólo de fervor científico, sino también metafísico», y había llegado a su convicción meditando acerca de la naturaleza de la vida. «Cuando por la meditación se hizo evidente para mí que la generación espontánea era uno de los medios que emplea la naturaleza para la reproducción de las cosas vivas, me dediqué al descubrimiento de los medios por los que se realiza.» La convicción basada en premisas filosóficas era un comienzo peligroso en el problema de la generación espontánea, que tan lleno estaba de trampas experimentales.

El experimento de Pouchet consistía en tomar una botella de agua hirviendo, que cerraba herméticamente y que luego sumergía invertida en una vasija de mercurio. Cuando se había enfriado bastante el agua, abría la botella bajo el mercurio e introducía medio litro de oxígeno y una pequeña cantidad de infusión de heno previamente expuesta a una temperatura elevada por largo tiempo. Creía que estas precauciones eran adecuadas para tapar cualquier rendija de entrada en la botella a los organismos vivos, pero a pesar de ello aparecía regularmente el crecimiento microbiano en la infusión de heno al cabo de pocos días.

Al año siguiente, Pouchet presentó sus puntos de vista y sus hallazgos en un elaborado trabajo de 700 páginas titulado *Hétérogénie*, que consideraba como la demostración final de que la vida podía originarse de nuevo a partir de soluciones inanimadas. Aunque criticadas por algunos de los fisiólogos franceses más distinguidos, las suposiciones de Pouchet causaron sensación en los círculos científicos. Con el propósito de estimular experimentos que disiparan la confusión, la Academia instituyó en 1860 el premio Alhumpert bajo el lema siguiente: «Para arrojar, mediante experimentos cuidadosamente dirigidos, nueva luz sobre la cuestión de la llamada generación espontánea.»

Desde el año 1859, el mismo en que se publicó el *Origin of Species*, Pasteur se había metido en lo más duro de la pelea sobre el origen de la vida. Se ha sugerido que él se puso inmediatamente en contra de los que sostenían haber demostrado la generación espontánea porque, como católico devoto, no podía aceptar la idea de una nueva creación de la vida. Esta opinión no está ciertamente justificada. Pocos años antes el propio Pasteur había intentado crear la vida mediante la acción de fuerzas químicas y físicas asimétricas, pero sus estudios sobre la fermentación le habían conducido a insistir sobre la naturaleza específica

de las reacciones de la fermentación, concepto incompatible con la aparición fortuita de microorganismos que parecían ser consecuencia inevitable de la doctrina de la generación espontánea. En aquel tiempo lo específico de las especies vivas había quedado asociado con la idea de la continuidad del germen, y hubiera resultado muy asombroso que esta relación no sirviera para lo «infinitamente pequeño». La idea de lo específico, surgida del trabajo sobre la fermentación, comprendía el concepto de caracteres hereditarios, que a su vez conducía a la creencia de una forma normal de generación.

Biot y Dumas disuadieron firmemente a Pasteur de que atacara el problema de la generación espontánea, pues temían que perdiese un tiempo precioso en una cuestión que se les antojaba fuera del campo de la investigación científica. Sin embargo, Pasteur estaba convencido de que la solución del problema era esencial para el desarrollo afortunado de sus opiniones sobre el papel de los microorganismos en la economía de la naturaleza. No pudo ser disuadido de lanzarse a la controversia y eligió el triunfo momentáneo de Pouchet como la primera meta de sus ataques.

Los experimentos de Pasteur sobre el problema de la generación espontánea han alcanzado una fama grande y bien merecida; pero más interesante que su ejecución es su gran estrategia para atacar el problema. Reconoció inmediatamente la posibilidad de que en nuestro medio, o en algún lugar del universo, pudiera ser que la vida se estuviera creando a sí misma. Esta posibilidad no puede ni debe ser negada. Pero lo que no puede hacerse es tomar en consideración las pretensiones de aquellos que señalan haber visto producirse la vida de nuevo, o que han producido condiciones bajo las cuales es posible la generación espontánea. Se preparó para esta tarea dedicándole además una gran cantidad de energía.

Se aceptaba generalmente que una infusión orgánica, aun cuando se la sometiera a calentamiento prolongado, padecería la fermentación o la putrefacción poco después de que se admitiera aire en ella. ¿Se debía esto al hecho de que el aire natural era un factor esencial para la nueva generación de la vida, como sostenían los que proponían la generación espontánea, o era simplemente debido a que el aire contenía gérmenes preformados y vivos? Esta cuestión sugirió a Pasteur experimentos incontables con todos los tipos de líquidos orgánicos: extracto de levadura, caldo, leche, orina, sangre, y con aire calentado y filtrado bajo toda clase de condiciones. Tomó prestadas las técnicas y procedimientos descritos por sus predecesores en el problema; pero, dedicando una atención infinita a los detalles técnicos minúsculos, consiguió diseñar pruebas que le daban siempre el resultado apetecido. Observó, por ejemplo, que el mercurio empleado en el momento de la readmisión del aire en las botellas calentadas siempre contenía polvo y gérmenes vivos en su superficie. Al eliminar el mercurio de la técnica experimental, eliminó al mismo tiempo la fuente de contaminación de los líquidos y del aire. Descubrió también que si se pudrían la leche, la yema de huevo y la carne aun después de calentadas a 100 °C, no se debía, como

habían creído Helmholtz, Schröder y muchos otros, a que la putrefacción fuese un proceso inherente a estos materiales nitrogenados, sino a que los gérmenes que contenían, para resultar inactivados, tenían que ser calentados a temperaturas algo más altas. Esta mayor resistencia se debía en parte, pero no totalmente, al hecho de que los gérmenes se destruyen menos fácilmente por el calor en la reacción neutra de la leche o de la yema de huevo que en una reacción ácida. Por ejemplo, un cocimiento de levadura ligeramente ácida se esteriliza fácilmente con hervor corto en condiciones normales, pero necesita que se le caliente hasta 110 °C si se lo neutraliza mediante la adición de carbonato de sodio; comportándose entonces como la leche. Todos los líquidos orgánicos calentados a temperaturas suficientemente elevadas permanecen estériles cuando se les introduce aire esterilizado por calor o por filtración. Como estos mismos líquidos calentados muestran rápidamente seres vivos en presencia del aire corriente, resulta obvio que los gérmenes de la vida proceden del aire.

Estos nuevos experimentos, aunque reproducibles, dejaban abierta la posibilidad de que la vida necesitase de la presencia de un «principio vital» (químico) presente en los líquidos orgánicos y en el aire corriente, pero que sería destruido por el calor prolongado y la filtración. Esta objeción, tan intangible y sin embargo difícil de ignorar, estimuló grandes discusiones en la atmósfera científica de 1860, y particularmente en el laboratorio de Pasteur. Hasta aquellos de sus amigos que le habían aconsejado alejarse de las discusiones de la generación espontánea tomaron entonces un vivo interés en ellas. El gran Jean Baptiste Dumas, que era uno de los altos oficiales del Imperio, descendía de sus alturas de vez en cuando para vigilar los detalles de las discusiones científicas y animar la facción de Pasteur. Más comprometido en los propios procedimientos estaba Balard, quien seguía la carrera de Pasteur con tanto interés personal como durante el periodo cristalográfico, y cuya importante contribución a la nueva controversia ha sido sacada a la luz por Duclaux: «Balard amaba la ciencia. Era suficiente verle en un laboratorio manejando una pieza de un aparato, o llevando a cabo una reacción, para saber que era un químico hasta las yemas de sus dedos. Pero tenía cierta indolencia natural, y estaba satisfecho con su parte de gloria. En lugar del trabajo científico que hubiera sido capaz de hacer, prefería el que ya encontraba hecho en los laboratorios que frecuentaba... Allí deseaba ver todos los detalles, y decimos todos porque tenía una mente abierta y un alma generosa y también porque hubiera resultado difícil ocultarle algo. ¡Ponía al mismo tiempo en sus interrogatorios tanta astucia y simplicidad! Cuando alguien le mostraba una buena demostración, le admiraba de todo corazón. Y a veces uno quedaba recompensado por esta confidencia: sugería una idea o revelaba un método... Todos los experimentos sobre la generación espontánea volvían a Balard loco de contento, y el laboratorio se animaba con su alegría comunicativa tan pronto como él entraba.»

Fue en el curso de una de estas visitas cuando Balard sugirió un procedimiento experimental —el uso de botellas con cuello de cisne—

que se utilizó ampliamente en el laboratorio de Pasteur para demostrar la posibilidad de mantener infusiones orgánicas calentadas en presencia de aire corriente, sin causar por ello la aparición de vida microscópica.

Después de introducir en la botella un líquido capaz de fermentar, el experimentador alargaba el cuello de la botella hasta la forma de un tubo en S sinuoso (de aquí el nombre de frascos con cuello de cisne). El líquido se hervía entonces durante unos pocos minutos, hasta que salía todo el aire forzado por el impulso del vapor a través del orificio del cuello. Al enfriarse lentamente, el aire exterior regresaba al frasco, sin calentar y sin filtrar. Como el cuello permanecía abierto, el aire del interior del frasco se comunicaba libremente con la atmósfera sin calentar y sin filtrar del exterior y existía un cambio gaseoso constante; y, sin embargo, el líquido en la botella permanecía indefinidamente estéril. Resultaba obvio, por tanto, que la incapacidad de la vida para desarrollarse no podía deberse a ninguna deficiencia en el aire. Que la propia infusión era capaz de sostener la vida podía demostrarse fácilmente, pues bastaba que cayera en ella un poco de polvo al romper el cuello del frasco para ver aparecer la vida microscópica, en primer lugar en el punto inmediatamente inferior de la abertura.

¿Por qué permanecían entonces estériles los frascos después de que era admitido el aire a través del cuello de cisne? ¿Por qué no podían entrar los gérmenes? Era debido a que el aire se lavaba en la humedad que quedaba en las curvas del cuello después de interrumpir el calentamiento. Al comienzo, cuando era rápida la entrada del aire, la acción purificadora de este lavado se aumentaba con la temperatura del líquido, aún suficientemente elevada para matar a los gérmenes que se ponían en contacto con él. Más tarde, las paredes húmedas del cuello fijaban los gérmenes del aire según iban pasando a través de la abertura. De hecho, cuando se sacudían los frascos de tal manera que se introducía en la curva del cuello una pequeña gota de la infusión, esta gota se enturbiaba aun cuando el orificio abierto hubiera estado previamente cerrado de modo que nada nuevo hubiera entrado del exterior. Aún más: si la gota se mezclaba con el resto del líquido, este último se infectaba como si se hubiera roto el cuello.

Pasteur había obtenido ya pruebas directas de que los gérmenes de la vida estaban presentes en el aire al concentrar las finas partículas suspendidas en la atmósfera y observarlas al microscopio. Había aspirado aire a través de un tubo en el cual había insertado un tapón de algodón pólvora que actuaba como filtro e interceptaba los gérmenes del aire. Al finalizar el experimento, el tapón de algodón pólvora se disolvía colocándolo en un tubo que contenía una mezcla de alcohol y éter, separándose el polvo insoluble del disolvente y sedimentándose en el fondo del tubo. Al microscopio, se descubría que el sedimento contenía numerosos cuerpos redondos u ovalados, que no se podían distinguir de las esporas de las plantas pequeñas o de los huevos de los animales diminutos; el número de estos cuerpos dependía de la naturaleza de la atmósfera y en particular de la altura respecto al suelo a que se había colocado el aparato aspirador. El polvo recuperado de la solución de alco-

hol y éter producía un rápido crecimiento de microorganismos cuando se introducía en las infusiones orgánicas calentadas, aunque se tomaran toda clase de precauciones para admitir únicamente aire esterilizado por el calor. Se ponía así en claro que el polvo fino invisible que flotaba en el aire contenía gérmenes capaces de iniciar la vida en los líquidos orgánicos calentados.

Ante esta evidencia, Pouchet y sus seguidores presentaron la objeción de que no era posible que hubiera *suficientes* gérmenes en el aire para explicar la generación de la vida mediante las técnicas utilizadas en el laboratorio. Ellos citaban los experimentos de Gay-Lussac que parecían mostrar cómo la más pequeña burbuja de oxígeno era suficiente para producir la putrefacción. Si la descomposición, insistía Pouchet, fuera debida a los gérmenes presentes en una diminuta burbuja, entonces el aire estaría tan cargado de formas vivas que sería «tan denso como el hierro».

Hubo pocos fisiólogos que tomaran en serio las indicaciones de Pouchet, y Pasteur podía haberlas ignorado. Pero, sin embargo, no era ése su estilo. Por temperamento, no podía dejar sin contestar ninguna oposición a lo que él creía era la verdad. Además, había otras razones que le obligaban a estudiar la distribución de los microorganismos en la naturaleza y proporcionar así una contestación a las objeciones de Pouchet. Este había ganado mucho siguiendo a aquellos que veían con gusto que pudiera crearse la vida a voluntad a partir de la materia inanimada, pues la doctrina de la generación espontánea, firmemente arraigada en convicciones filosóficas, podía obtener suficiente alimento de ellas para sobrevivir aun sin una ayuda científica fuerte. Más importante que esto era el hecho de que el conocimiento de la distribución cuantitativa de los microorganismos en la atmósfera constituía una base indispensable para el desarrollo de la teoría microbiana, y Pasteur comprendió que podría contestar mejor a las objeciones de Pouchet si obtenía una información más exacta sobre la presencia de los microorganismos en la atmósfera. En realidad, los resultados de la filtración del aire a través del algodón pólvora ya sugerían que existía una gran diferencia entre el número y el tipo de gérmenes que podrían hallarse en la atmósfera de lugares diferentes.

Mientras trataba de contestar las objeciones de Pouchet, Pasteur llevó a cabo algunos de sus más famosos experimentos sobre la controversia de la generación espontánea, experimentos que establecieron cómo los gérmenes de la putrefacción y la fermentación están distribuidos de una forma muy desigual. El cuello de un número de botellas que contenían extracto de levadura y azúcar se alargaba mediante el fuego hasta formar sólo un pequeño orificio, de modo que pudieran sellarse fácilmente cuando se deseara. Se hervía entonces el líquido para destruir las cosas vivas y expeler el aire, el cual quedaba desplazado por una corriente de vapor de agua. Las botellas, selladas mediante la fusión del extremo de vidrio con un soplete mientras se escapaba el vapor, quedaban prácticamente vacías de aire y su contenido permanecía estéril mientras se mantuvieran selladas. Pasteur colocó estos frascos

en los lugares donde deseaba hacer un estudio del aire, y rompía sus cuellos con un par de pinzas largas. Se hacía esto con las precauciones más cuidadosas, pasando los cuellos y las pinzas por una llama de alcohol, con el fin de matar todos los gérmenes depositados en ellos, y manteniendo los frascos durante toda la operación lo más arriba posible de su cabeza con el fin de evitar la contaminación del aire por el polvo de su ropa. Al romper los cuellos, se producía un silbido; era la entrada del aire. Se volvían a sellar los frascos a la llama y se llevaban a la estufa.

Aun cuando cada frasco recibía cuando menos una tercera parte de un litro del aire exterior durante la operación, siempre había alguno que permanecía estéril, demostrando que los gérmenes no siempre están en todas partes. Las pruebas demostraron que los gérmenes aéreos son más abundantes en los lugares bajos, especialmente cerca de las tierras cultivadas. Su número es menor cuando el aire permanece tranquilo durante largos períodos de tiempo —como en los sótanos del Observatorio de París— y también en las montañas lejos de la tierra habitada y cultivada. En verdad, la mayor parte de los frascos que Pasteur abrió en medio de los glaciares suizos permanecieron estériles, prueba de lo límpido de la atmósfera en las altitudes elevadas; prueba definitiva, asimismo, de que el aire puro sin calentar resulta incapaz de producir alteración de los líquidos orgánicos si no contiene los gérmenes vivos de la fermentación.

Estos experimentos produjeron una enorme sensación entre el público en general y en el científico en particular debido a su simplicidad, pero no convencieron a los abogados de la teoría de la generación espontánea.

La controversia se había salido del ambiente científico hasta alcanzar una difusa periferia donde las doctrinas religiosas, filosóficas y políticas confundían tantos aspectos de la vida intelectual francesa. Los hallazgos de Pasteur parecían apoyar la historia bíblica de la creación, y estaban en aparente conflicto con la filosofía política avanzada. Escritores y publicistas tomaron partido en la polémica, no en base a la evidencia de los hechos, sino únicamente bajo la influencia de prejuicios y creencias emotivas. A pesar de su indignación ante la guerra que se le hacía, tanto en las sociedades científicas como en la prensa diaria, Pasteur se las arregló para contener su temperamento durante unos pocos meses. Es posible que en aquel tiempo no pudiera trazar un dispositivo experimental capaz de agregar más peso a las pruebas ya acumuladas y, en consecuencia, juzgó más sabio esperar hasta un error táctico de sus adversarios que les hiciera vulnerables a su ataque.

Pouchet señaló en 1863 que, en colaboración con otros dos naturalistas, Joly y Musset, había intentado sin éxito reproducir los hallazgos de Pasteur respecto a la distribución de los gérmenes en el aire. A diferentes altitudes en los Pirineos, hasta el borde del glaciar Maladeta, a 10.000 pies de elevación, los tres naturalistas habían recogido aire en frascos estériles que contenían infusión de heno calentada. En lugar de obtener los resultados indicados por Pasteur, encontraron que «dondequiera que se recogía un litro de aire que entraba en contacto con líqui-

do orgánico, en un frasco herméticamente sellado, el líquido revelaba pronto el desarrollo de gérmenes vivos». Se decía que se habían tomado todas las precauciones de Pasteur, con excepción de cortar con una lima el cuello de los frascos y haber agitado el contenido antes de cerrarlos de nuevo. Este conflicto absoluto con sus propios resultados se le aparecía a Pasteur como la esperada oportunidad para la respuesta, pues era una situación que no permitía discusiones teóricas ni tampoco discusiones filosóficas. Confiaba por completo en su técnica y no tenía ninguna confianza en la de sus oponentes. Para dilucidar la cuestión pidió que la Academia de Ciencias nombrara una comisión para repetir los experimentos que dos grupos de investigadores habían llevado a cabo con resultados tan incompatibles.

Para entonces, la Academia estaba del lado de Pasteur. En 1862 le había concedido el premio Alhumpert por su *Mémoire sur les corpuscles organisés qui existent dans l'atmosphère*. En 1863, Flourens, el influyente filósofo, había rechazado el trabajo de Pouchet, Joly y Musset con una indicación cortante y despreciativa: «Los experimentos de M. Pasteur son decisivos. Si la generación espontánea es una realidad, ¿para qué hay necesidad de producir el desarrollo de los animales diminutos? Ahora bien, M. Pasteur consiguió juntar el aire y líquidos putrescibles y no sucedió nada. La generación no se produce. Dudar ya es no comprender la cuestión.»

Se nombró la comisión solicitada por Pasteur y éste arrojó el guante con las siguientes declaraciones: «Siempre es posible en algunos lugares tomar una cantidad considerable de aire que no ha estado sujeto a ningún cambio químico ni físico, y que tal aire resulte incapaz de producir cualquier alteración en el líquido más putrescible.» Pouchet y sus colegas mordieron el anzuelo. Contestaron al desafío manifestando que la declaración era errónea y prometieron proporcionar la prueba, agregando: «Si uno solo de nuestros frascos se conserva sin alteración, aceptaremos honradamente nuestra derrota.» A pesar de ello, en dos ocasiones diferentes, y por razones largas de explicar, rehusaron aceptar las condiciones de la prueba organizada por la comisión y finalmente se retiraron de la competición. Pasteur, por el contrario, llegó con sus ayudantes cargado de aparatos y listo para la prueba, que se llevó a cabo en el laboratorio de Chevreul, en el Museo de Historia Natural. Primero demostró que tres frascos que había abierto en el Montanvert en 1860 se habían conservado estériles desde entonces. Se abrió uno y su aire fue analizado, revelando un contenido normal del 21% de oxígeno. Se abrió el segundo, y en tres días ofreció incontables microorganismos. Se dejó el tercer frasco sin tocar, y posteriormente fue exhibido en la Academia de Ciencias. Pasteur preparó entonces una nueva serie de sesenta frascos ante la comisión. Colocó en cada uno una tercera parte de un litro de agua de levadura. Se estrechó el cuello y se hirvió el líquido durante dos minutos; cincuenta y seis de los sesenta frascos fueron cerrados a la llama. En cuanto se estiraron los cuellos, se doblaron hacia abajo y se dejaron abiertos. De los cincuenta y seis frascos cerrados, se abrieron diecinueve en el anfiteatro del Museo de Historia Na-

tural, resultando que catorce permanecieron estériles y cinco se contaminaron; diecinueve se abrieron en el lugar más alto de la cúpula del anfiteatro, y de ellos, trece se conservaron estériles. El tercer lote de dieciocho frascos se expuso al aire libre bajo algunos álamos, y de ellos, sólo dos permanecieron estériles. Los cuatro frascos abiertos con cuello de cisne se conservaron estériles. Una comunicación oficial con firmes palabras, publicada en los *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, registra el triunfo de Pasteur, y como muchos creyeron entonces, pareció cerrarse la polémica.

En este momento debemos anticipar el desarrollo de la polémica algunos años para indicar que, a pesar del éxito espectacular de Pasteur con sus experimentos en el laboratorio de Chevreul, y a pesar de la eminencia e integridad de los hombres de ciencia que atestiguaron las pruebas y actuaron como jueces de la Academia, el juicio de la comisión se basaba en pruebas insuficientes. Hasta los académicos más distinguidos deben inclinarse ante el supremo tribunal del tiempo, y sabemos hoy que se apresuraron a decidir el problema sin apreciar suficientemente los testimonios de Pouchet. En realidad, tanto Pasteur como sus oponentes tenían razón en lo que habían observado en sus respectivos experimentos, aun cuando Pouchet estaba equivocado en la interpretación de sus hallazgos. Pero ante aquel tribunal se necesitaba tanta energía como razón para obtener justicia, y Pouchet estaba intimidado por la convicción de su oponente.

Los hechos son éstos: Pasteur había usado infusión de levadura como material putrescible en sus experimentos, mientras que Pouchet había usado infusión de heno. La esterilización por calor de la infusión de levadura es fácil, mientras que la de heno es sumamente difícil. El tratamiento por calor aplicado por Pasteur hubiera resultado insuficiente para esterilizar a esta última. En consecuencia, el calor aplicado por Pouchet, que era el mismo que el utilizado por Pasteur, no esterilizaba la infusión de heno que empleaba, explicando así el hecho del desarrollo de gérmenes que sobrevenía usualmente en los frascos, mientras que los frascos de Pasteur que contenían la infusión de levadura permanecían estériles bajo las mismas condiciones.

La falta de autoconfianza demostrada por Pouchet en esta prueba extraordinaria, y el juicio en rebeldía dado por el tribunal académico, retrasó el conocimiento de la verdad completa durante algunos años, no poniéndose en duda hasta 1876 el triunfo de Pasteur. Tal vez se puede deducir una moraleja de esta historia. Es acerca del peligro sutil que surge de las afirmaciones de un organismo académico, no importa lo distinguido que sea, cuando se refiere a responsabilidades que van más allá de su verdadera competencia. La autoridad del pronunciamiento de la Academia protegió por algún tiempo a Pasteur estrangulando nuevas investigaciones, especialmente en Francia. Afortunadamente, no le podían proteger de los ataques de enemigos científicos que no le debían homenaje al cuerpo augusto cuya sanción había invocado con tanto éxito. Como veremos, fue para vencer las declaraciones hechas en Inglaterra sobre la generación espontánea diez años más tarde, por Bastian,

cuando Pasteur se vio obligado a reconocer las limitaciones de las técnicas experimentales que había usado en su controversia con Pouchet y a establecer sus pretensiones sobre una base más definitiva.

En 1864 el triunfo de Pasteur parecía completo. Había reunido sus resultados sobre el origen y la distribución de los gérmenes en el ensayo *Sur les corpuscles organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées*, que fue publicado en 1861, y del cual escribiera Tyndall: «Rara vez se ofrecieron de un modo tan sorprendente la claridad, fuerza y cautela, junto con una habilidad experimental consumada, como en este ensayo imperecedero.» En verdad, era la inauguración de una nueva época en bacteriología.

En 1862, a la edad de cuarenta años, Pasteur había sido elegido miembro de la Academia de Ciencias de París. Como no encajaban de forma especial ninguna de sus actividades científicas en alguna de las secciones especializadas de la Academia, había sido nombrado miembro de la sección de mineralogía, en base a sus estudios iniciales cristalográficos y también por su entrenamiento esencial en química y física. No se discute, sin embargo, que fue el carácter espectacular de sus estudios sobre la fermentación y la generación espontánea lo que le colocó al frente de la ciencia francesa.

Su fama había llegado más allá de los círculos científicos, y las polémicas sobre la generación espontánea eran uno de los tópicos de discusión más activos en las reuniones sociales. Aun cuando el propio Pasteur tuvo el cuidado de limitar las discusiones a los hechos en pro o en contra de la creación de la vida *de novo*, era aprobado por muchos y acusado por otros como defensor de una causa religiosa. Un sacerdote hablaba de convertir a los incrédulos mediante la no existencia de la generación espontánea, y, por otro lado, el celebrado novelista Edmond About tomó el partido de Pouchet sin un mejor conocimiento científico. «M. Pasteur predica en la Sorbona en medio de un concierto de aplausos que deben contentar a los ángeles.» La conferencia a que se refería About había sido un enorme triunfo. El 7 de abril de 1864, en una de las «tardes científicas» de la Sorbona, ante un público brillante que contaba con celebridades sociales además de profesores y estudiantes, Pasteur había resumido la historia de la controversia, los aspectos técnicos de sus experimentos, su significación y sus limitaciones. Presentando a su auditorio los frascos con cuello de cisne en los que habían permanecido estériles las infusiones calentadas en contacto con el aire natural, formuló sus conclusiones en estas palabras de singular belleza:

«Y por lo tanto, caballeros, puedo apuntar a ese líquido y decirles: he tomado mi gota de agua de la inmensidad de la Creación, y la he tomado repleta de los elementos apropiados para el crecimiento de los seres inferiores. Y espero, vigilo, escudriño; le ruego que comience para mí de nuevo el hermoso espectáculo de la primera creación. Pero está muda, muda desde que hace varios años comencé estos experimentos; está muda porque la he protegido de la única cosa que no sabe el hombre cómo producir: de los gérmenes que flotan en el aire, de la vida, porque la vida es un germen y un germen es la vida. Jamás podrá recupe-

rarse la doctrina de la generación espontánea del golpe mortal de este simple experimento.»

No se ha recuperado todavía; puede que nunca lo haga. Hoy, después de casi un siglo, los líquidos de los mismos frascos se mantienen inalterados, testigos del hecho de cómo el hombre puede proteger la materia orgánica de la acción destructiva de las fuerzas vivas, pero no ha aprendido todavía a convertir en vida la materia organizada.

Pero a pesar de los triunfos científicos y oficiales de Pasteur, no estaban sus oponentes convencidos ni callados por entero. En 1864, Pouchet publicó una nueva edición aumentada de su libro, en el que reiteraba su creencia en la generación espontánea. Aquí y allá, otros investigadores publicaban también algunos experimentos con resultados en conflicto con las enseñanzas de Pasteur. No es necesario seguir estas pequeñas escaramuzas, pues pocos años más tarde iba a aparecer en Inglaterra un contendiente más formidable para demostrar que la decisión de una academia oficial no resultaba suficiente para exterminar la hidra de la generación espontánea. En 1872, Henry Charlton Bastian publicó en Londres un enorme tomo de 1.115 páginas titulado *The Beginning of Life; Being Some Account of the Nature, Modes of Origin and Transformation of Lower Organisms*, en el cual se reintroducía de la forma más extrema la teoría de la generación espontánea.

Bastian contribuyó con una nueva observación fundamental al problema. Descubrió que mientras la orina ácida calentada a una temperatura elevada permanecía clara y aparentemente estéril, cuando se la protegía del contacto con el aire ordinario, se enturbiaba y «hervía» de bacterias vivas al cabo de diez horas de haber sido neutralizada con un poco de solución estéril de potasa. Según Bastian, esto establecía el hecho de la generación espontánea de la vida como posible, así como que Pasteur no había suministrado las condiciones fisicoquímicas complejas necesarias para su producción. Las técnicas de Bastian eran primitivas y la mayor parte de sus pretensiones sin valor, como resultado de una experimentación torpe. Sin embargo, estaba en lo cierto al señalar que la orina calentada a 110 °C podía todavía dar lugar a la vida microbiana después de añadir álcali estéril. Si no los producía *de novo*, ¿de dónde venían estos gérmenes? La forma en que se resolvió este problema merece alguna consideración, no solamente porque lo eliminó, por lo menos entonces, sino porque condujo a Pasteur y sus alumnos en Francia —y a Tyndall en Inglaterra— a diseñar algunas de las técnicas más útiles de la ciencia bacteriológica.

Bastian había disuelto la potasa calentada en agua destilada, sin darse cuenta del hecho de que el agua más límpida puede llevar gérmenes vivos. Mientras estaba investigando este problema, Pasteur y su ayudante Joubert observaron que el agua de pozos profundos, que ha sufrido una filtración lenta en suelo arenoso, a menudo estaba casi o completamente libre de gérmenes. Esta observación condujo bien pronto a Chamberland a preparar filtros bacteriológicos de porcelana, tan usados ahora en los laboratorios bacteriológicos y anteriormente como objetos caseros.

Pronto se hizo obvio que debían existir otras fuentes de contaminación en los experimentos de Bastian. Durante los estudios sobre las enfermedades del gusano de seda, que consideraremos en un capítulo posterior, Pasteur se había dado cuenta del hecho de que pueden existir bacterias en fase latente que son más resistentes al calor que las formas activas vegetativas. Estas formas resistentes fueron estudiadas de un modo extenso por John Tyndall y especialmente por Ferdinand Cohn, quienes las llamaron «esporas bacterianas». Pasteur supuso que las muestras de orina de Bastian estaban contaminadas con algunas de estas esporas bacterianas, las cuales sobrevivían al proceso de calentamiento, pero que eran incapaces de germinar y producir crecimiento bacteriano visible hasta que con la adición de álcali quedaba neutralizada la ligera acidez de la orina. Por fortuna, el calentamiento a 120 °C bajo presión resultó suficiente para destruir las esporas bacterianas y efectuar así la completa esterilización de la orina y de otros líquidos orgánicos. Así se introdujo en la técnica bacteriológica, y en muchas operaciones de higiene pública y tecnología práctica, el uso del autoclave para producir la esterilización con vapor supercalentado. Por otro lado se vio que aun cuando eran suficientes 120 °C en presencia del vapor de agua para la esterilización, la mayor parte de las formas vivientes eran mucho más resistentes al calor seco. El descubrimiento de este hecho condujo a la descripción de muchos procesos bacteriológicos, tales como el uso de estufas que alcanzaban 160 °C para la esterilización en seco, y la práctica de pasar los tubos de ensayo, frascos y pipetas a través de la llama para la inoculación y transferencia de cultivos microbianos. Mientras Pasteur y su escuela explicaban los resultados de Bastian y combatían sus interpretaciones, en Inglaterra el físico John Tyndall había levantado su antorcha contra la generación espontánea. En el curso de sus estudios respecto a la relación entre el calor irradiado y los gases, Tyndall se había impresionado mucho ante la dificultad de suprimir de la atmósfera las partículas invisibles de polvo que flotan en ella. Este interés por el polvo le desvió progresivamente a la discusión de la generación espontánea y le llevó a considerar que las partículas de polvo llevan organismos vivos. Sus experimentos sobre el problema, publicados en 1876 y 1877, suministraron una ayuda poderosa a las ideas de Pasteur. Los ofreció de nuevo, junto a brillantes ensayos y conferencias, en su libro *Essays on the Floating Matter of the Air in Relation to Putrefaction and Infection*, que, al publicarse en 1881, desempeñó un papel casi semejante a los escritos de Pasteur al producir la caída final de la doctrina de la generación espontánea.

Tyndall preparó cámaras experimentales, cuya superficie interior recubrió con glicerina. Las cámaras cerradas se dejaban sin tocar durante varios días hasta que un rayo de luz, al pasar por unas ventanas laterales, indicaba que toda la materia flotante del aire se había sedimentado y quedaba adherida a las superficies de glicerina. Según la terminología de Tyndall, el aire estaba entonces «ópticamente vacío». Bajo estas condiciones se podían exponer al aire de la cámara toda clase de líquidos orgánicos esterilizados, orina, caldo e infusiones vegetales que

El físico inglés John Tyndall (1820-1893), gran admirador de Pasteur, fue uno de los más destacados divulgadores científicos de la época victoriana. A él se debe el método de esterilización fraccionada conocido como «tindalización». Retrato por J. H. Hamilton. National Portrait Gallery, Londres.

permanecían sin alterarse durante meses. En otras palabras, el aire ópticamente vacío era también aire estéril. De este modo se aseguraba que el poder de la atmósfera para engendrar vida bacteriana corre pareja con su habilidad para dispersar la luz y, por lo tanto, con su contenido en polvo, y que muchas de las partículas microscópicas que flotan en el aire están formadas de microorganismos o los transportan.

Tyndall, que había sido entrenado como físico, demostró tener, al igual que Pasteur, una imaginación creativa biológica notable en estos experimentos. Vale la pena hacer una digresión por un momento y mencionar aquí las circunstancias en las cuales desarrolló la técnica de la esterilización práctica mediante calentamiento discontinuo, conocida hoy como «tindalización». Estaba muy impresionado por la enorme resistencia que ofrecían al calor las esporas del bacilo del heno, un organismo siempre presente en las infusiones de heno. Sabiendo que las bacterias vegetativas mueren fácilmente por la ebullición y que se necesita cierto periodo de latencia antes de que las esporas termorresistentes vuelvan al estado vegetativo en el cual se hacen de nuevo termolábiles, diseñó un proceso de esterilización que describió primero en 1877 en una carta a Huxley: «Antes de que se complete el periodo de latencia de cualquier germen (digamos unas cuantas horas después de la preparación de la infusión) lo someto durante un breve intervalo a una temperatura que puede ser inferior a la de la ebullición del agua. Esto ablanda y vivifica

los gérmenes, pues se encuentran a punto de pasar a la vida activa y, por lo tanto, mueren; otros que no se ablandaron todavía permanecen intactos. Repito bien este proceso en el intervalo que necesitan los más avanzados de los primeros para concluir su periodo de latencia. El número de los gérmenes sin destruir disminuye aún más por este segundo calentamiento. Después de un número de repeticiones que varía según el carácter de los gérmenes, sea cual sea su resistencia, la infusión queda completamente esterilizada.» La ebullición durante un minuto cinco veces consecutivas puede hacer estéril una infusión, mientras que una ebullición mantenida constante durante una hora puede no hacerlo.

Tal vez el triunfo de Pasteur y Tyndall sobre los que sostenían la doctrina de la generación espontánea no fuera tan universal y completo como lo vemos ahora con una perspectiva de tres cuartos de siglo. Debió de haber muchos hombres de ciencia que, aun aceptando la amplia distribución de los microbios en la atmósfera, no podían rechazar la creencia de que la vida microbiana elemental podía salir de vez en cuando *de novo* de la materia en putrefacción. En verdad, por todo el mundo hay hoy investigadores atentos, con esperanza que no muere, a encontrar algún indicio de que la materia puede organizarse por sí sola bajo formas que estimulen las características de la vida. El hombre nunca renunciará y probablemente nunca abandonará sus esfuerzos para obtener de la inercia caótica de la materia inanimada la secuencia ordenada y dinámica de los procesos vivos.

Ocurrió un suceso inesperado que reveló a Pasteur cómo, muy escondido en el corazón de algunos de sus más ilustres colegas, la «quimera» de la generación espontánea respiraba todavía.

El fisiólogo francés Claude Bernard murió en el otoño de 1878. Aunque parece que sus relaciones sociales con Pasteur nunca pasaron de las reuniones oficiales de las academias, los dos hombres habían gozado de relaciones científicas amistosas y habían escrito uno del otro en los términos más aduladores. Habían corrido rumores de que Bernard había dedicado los últimos meses de actividad, en su casa de campo de Saint-Julien, al problema de la fermentación alcohólica. En realidad, se encontraron en el fondo de un cajón, después de su muerte, unas notas esquemáticas que describían unos pocos experimentos rudimentarios referentes a la fermentación de las uvas, y fueron publicados inmediatamente por los amigos de Bernard, el químico Berthelot y los fisiólogos Bert y D'Arsonval. En aquellas notas, Bernard señalaba que, contra las ideas de Pasteur, la fermentación podía ocurrir independientemente de los procesos vivos, implicando, con ello, al parecer, que la levadura podía resultar de la fermentación en lugar de ser la causa de ella. «La levadura se produce solamente en aquellos extractos de uvas en que existe función protoplásmica. No se produce en los zumos que se han podrido, en los cuales se ha destruido el poder protoplásmico...»

Pasteur vio en aquellas oscuras líneas una reaparición disfrazada de la doctrina de la generación espontánea, y expresó su consternación en una comunicación a la Academia: «Al leer estas opiniones de Bernard, experimenté tanta sorpresa como sentimiento; sorpresa, porque

Retrato del fisiólogo francés Claude Bernard, (1813-1878), autor de Introducción al estudio de la medicina experimental, *una de las obras más influyentes en la evolución científica y cultural del siglo XIX.*

la mente estricta que me gustaba admirar en él está ausente por completo en este misticismo fisiológico; sentimiento, porque nuestro ilustre colega parece que ha olvidado las demostraciones que he presentado en el pasado. ¿No he descrito cuidadosamente, por ejemplo, desde 1872, y más particularmente en mis *Etudes sur la bière* en 1876, una técnica para extraer el zumo de uva del interior de la propia uva, y cómo al exponer este zumo al contacto con el aire puro he mostrado que, bajo estas condiciones, no aparece la levadura y la fermentación alcohólica usual no se produce?... Ha sido doloroso también para mí comprender que todo esto tenía lugar bajo los auspicios de nuestro eminente colega M. Berthelot.»

Pasteur no podía dejar sin contestar la insinuación velada de que después de todo la levadura pudiera originarse en el zumo de la uva. Aun cuando la declaración póstuma de Bernard difícilmente podía ser interpretada como algo más que una vaga sugerencia, el inmenso prestigio de su autor fue suficiente para dar nueva vida a la dormida doctrina de la generación espontánea. Por esta razón decidió inmediatamente demostrar una vez más que la fermentación alcohólica dependía de la introducción previa de células de levadura en el zumo de la uva, y este proyecto, naturalmente, le condujo a la cuestión del origen de la levadura en las condiciones naturales de la producción del vino.

El productor de vino no necesita añadir levadura para iniciar la fermentación del mosto. Las levaduras naturales que están presentes en

gran número de las uvas y en sus tallos se mezclan con el mosto durante la presión y comienzan la fermentación con viveza poco después de que se ha pasado el mosto a los toneles. Las levaduras naturales difieren en la forma y en las características fisiológicas, así como en el aroma que comunican a los líquidos que fermentan, según los lugares y el tipo de las uvas. En el lugar preciso de la viña aparece todos los años el mismo tipo de levaduras, listas para comenzar la fermentación de la nueva cosecha de uvas. Parece, en verdad, como si la Providencia proporcionara la levadura para completar, según un proceso natural, la transformación de la uva madura en vino fermentado. La levadura aparece casi como un componente normal de la cosecha de uvas, del mosto y del fruto aplastado de los soleados viñedos. ¿De dónde vienen estas levaduras naturales y cuáles son las misiones con que el reloj de la Providencia las coloca en las uvas en el momento adecuado?

Las células de levadura sólo están presentes en número apropiado sobre la planta cuando las uvas maduran; luego, disminuyen progresivamente en número sobre los tallos conservándose durante la vendimia, y finalmente desaparecen durante el invierno. El descubrimiento de Pasteur acerca de que cada uva madura lleva su propia dotación de levadura explicaba el curso rápido de la fermentación durante las condiciones habituales de la fabricación del vino. Explicaba también algunas de las observaciones de laboratorio que habían sido citadas en apoyo de la teoría de la generación espontánea, particularmente el hecho que había observado Bernard de la formación de algo de alcohol en el zumo puro extraído por presión de las uvas. Todas estas conclusiones habían sido anticipadas en los *Etudes sur la bière*, y como Bernard los había olvidado o ignorado, Pasteur resolvió repetir sus primeros experimentos en una escala más amplia y más convincente. Además de su interés científico, este episodio tiene el mérito de ilustrar los métodos de trabajo de Pasteur, su ardor por regresar a las posiciones ya conquistadas cuando estaban amenazadas, y la prontitud con que tomaba decisiones al juzgar que estaba sobre el tapete una cuestión importante. Formuló su plan al día siguiente de la publicación póstuma del manuscrito de Bernard:

«Sin fijarme en los gastos —escribió—, ordené a toda prisa varios invernaderos con el propósito de transportarlos hasta el Jura, donde poseía un viñedo de algunas docenas de metros cuadrados de extensión. No había un solo momento que perder. Y éste es el porqué.

»He mostrado en uno de mis capítulos de los *Etudes sur la bière* que los gérmenes de la levadura no están presentes aún en la uva cuando está en agraz, lo que tiene lugar, en el Jura, a finales de julio. Me dije a mí mismo: estamos en la época del año en que, gracias a un retraso en el crecimiento por una temporada fría y lluviosa, las uvas están precisamente en ese estado en la región de Arbois. Si en este momento cubro algunas vides con invernaderos casi herméticamente cerrados, tendré en octubre, en la vendimia, vides con uvas maduras sin levadura en su superficie. Estas uvas, si se aplastan con las precauciones necesarias para evitar la levadura, no serán capaces de fermentar ni de producir vino. Tendré el placer de traerlas a París, de presentarlas en la Aca-

demia, y de ofrecer algunos racimos a aquellos de mis colegas que creen todavía en la generación espontánea de la levadura.

»El 4 de agosto de 1878 estuvieron terminados los invernaderos y listos para instalarse... Durante la instalación y después de ella investigué con todo cuidado si realmente estaba ausente de los racimos agraces la levadura, como hasta ahora era el caso. El resultado fue el que yo esperaba; determiné en un gran número de experimentos que las vides agraces alrededor de Arbois, y en especial los viñedos cubiertos con los invernaderos, no presentaban señales de levadura al comienzo del mes de agosto de 1878.

»Por temor a que el cierre inadecuado de los invernaderos fuera a permitir que las levaduras llegaran hasta los racimos, decidí cubrir cierto número de ellos en cada vid con envolturas de algodón previamente calentadas a una temperatura de unos 150 °C...

»Las uvas en los invernaderos maduraron hacia el 10 de octubre; podía uno distinguir las semillas a través de su piel, y eran tan dulces como la mayoría de las uvas que habían crecido al aire libre; la única diferencia era que las uvas cubiertas por el algodón, normalmente negras, estaban coloreadas ligeramente, más bien violáceas que negras, y que las uvas blancas no tenían el tinte amarillo dorado de las uvas blancas expuestas al sol. A pesar de todo, repito, la madurez de ambas no dejaba nada que desear.

»El 10 de octubre hice mi primer experimento con las uvas de los racimos sin cubrir y de aquellos cubiertos por algodón, en comparación con las que habían crecido al aire libre. Puedo decir que los resultados han sobrepasado mi expectación... Hoy, después de multitud de ensayos, me encuentro donde comencé, es decir, que me ha sido imposible obtener fermentación alcohólica por levadura *una sola vez* de los racimos cubiertos de algodón.

»El experimento comparativo es sugerente por sí mismo. Los invernaderos se colocaron en un período durante el cual los gérmenes están ausentes de los tallos y de los racimos, mientras que los experimentos que acabo de describir del 10 al 31 de octubre tuvieron lugar en un periodo en que los gérmenes están presentes en las plantas. Se podía esperar que si se exponían los racimos a los que se hubiera quitado la cubierta de algodón y retirado de los invernaderos al exterior, estos racimos fermentarían luego bajo la influencia de las levaduras que no dejarían de recibir en su nueva posición. Este fue precisamente el resultado que obtuve.»

A la vista de estos resultados, no quedaba nada por hacer frente a los indecisos experimentos de Bernard. Una vez más, había dejado de existir la generación espontánea. Pasteur tuvo que librar algunas batallas oratorias más en la Academia de Medicina de París contra los últimos defensores de la doctrina, pero poco se volvió a oír de ellos después de 1880, excepto la voz solitaria de Bastian, quien continuó proclamando su fe hasta el momento de su muerte en 1910.

No le recompensa al filósofo demostrar su tesis con demasiado cuidado o en una forma demasiado convincente. Sus ideas vienen a formar

parte del conocimiento intelectual casero de la humanidad y se echa en el olvido el genio y el trabajo desplegados para establecerlas. Por esta razón, uno lee u oye a menudo que Pasteur y Tyndall malgastaron mucho talento y energía en una lucha inútil, pues la creencia en la generación espontánea estaba muriendo de muerte natural cuando tomaron las armas en su contra. En realidad, tuvieron que vencer no sólo las enseñanzas de los más eminentes fisiólogos del tiempo, sino también prejuicios emocionales basados en convicciones filosóficas.

Ni Pasteur ni Tyndall pudieron jamás preparar un experimento que pudiera demostrar que no existe la generación espontánea; tuvieron que conformarse con descubrir en cada pretensión de aquel descubrimiento sofismas experimentales que invalidaban la pretensión. Fue esta necesidad siempre renovada de descubrir las fuentes de error en las técnicas de los defensores de la generación espontánea la que hizo, a su vez, necesario abrir de nuevo el debate una y otra vez, dando la impresión de una repetición sin fin ni provecho. El problema fue expuesto en forma clara por Pasteur ante la Academia de Medicina en marzo de 1875, con ocasión de un debate durante el cual Poggiale había hablado desdeñosamente de sus experimentos sobre la generación espontánea. «Cualquier fuente de error juega en las manos de mis adversarios. Al afirmar que no hay fermentaciones espontáneas, me encuentro obligado a eliminar cualquier causa de error, cualquier influencia perturbadora. Mientras que solamente puedo mantener mis resultados mediante la técnica más irreprochable, sus pretensiones se aprovechan de cada experimento inadecuado.»

Además de decidir la controversia sobre la generación espontánea, el esfuerzo de Pasteur y Tyndall sirvió para establecer la nueva ciencia de la bacteriología sobre bases técnicas sólidas. Se tuvieron que idear procedimientos exactos para prevenir la introducción de gérmenes extraños procedentes del exterior dentro del sistema en estudio, y también destruir los gérmenes ya presentes en él. Debido a esta necesidad, se desarrollaron las técnicas fundamentales de la manipulación aséptica y de la esterilización entre 1860 y 1880. También fueron incidentales a la controversia los descubrimientos de muchos hechos referentes a la distribución de los microorganismos en nuestro ambiente, en el aire y en el agua. Se encontró también que la sangre y la orina de los animales normales estaban libres de microbios y que se podían conservar sin que ofrecieran señales de putrefacción cuando se recogían con las precauciones asépticas adecuadas. Todas estas observaciones constituyeron las bases concretas sobre las cuales se construiría la historia natural de la vida microbiana y, como veremos, Pasteur vio en ellas muchas analogías que le ayudaron a formular la teoría microbiana de la enfermedad y las leyes de la epidemiología. La controversia sobre la generación espontánea fue la escuela exigente en que la bacteriología se dio cuenta de sus problemas y creó su metodología.

Sin embargo, debe insistirse en que lo que se había decidido no era una teoría acerca del origen de la vida. No se había aprendido nada sobre las condiciones en que había aparecido la vida primero, y nadie sabe

aún hoy en día si se genera de nuevo a partir de la materia inanimada. Sólo se había establecido el simple hecho de que la vida microbiana no aparecía en un medio orgánico adecuadamente esterilizado y manejado posteriormente para excluir la contaminación del exterior. La teoría microbiana no es una teoría filosófica de la vida, sino simplemente un cuerpo de hechos y observaciones que permiten una serie de operaciones prácticas. Enseña que la fermentación, la descomposición y la putrefacción están causadas por microorganismos vivos ubicuos en la naturaleza; que las bacterias no se engendran por el líquido en descomposición, sino que vienen del exterior; que un líquido estéril expuesto a un aire estéril permanecerá estéril para siempre.

Fue este concepto el que expuso Pasteur en su conferencia de la Sorbona ante un anfiteatro repleto por un auditorio de moda que acudía a oírle una disertación sobre el origen, la naturaleza y la significación de la vida. Pero, sabiamente, evitó filosofar. No negó la posibilidad de la generación espontánea; simplemente afirmó que nunca se había demostrado que ocurriera.

Las palabras que pronunció en aquella ocasión constituyen la roca permanente sobre la que fueron construidas ramas enteras de las ciencias biológicas:

«No se conoce ninguna circunstancia por la que pueda afirmarse que los seres microscópicos vinieron a este mundo sin gérmenes, sin antecesores semejantes a ellos mismos. Aquellos que lo afirman han sido embaucados por ilusiones, por experimentos mal llevados, por errores que no percibieron o que no sabían cómo evitar.»

7. La unidad bioquímica de la vida

«Así como la religión nos advierte que mostremos nuestra fe con hechos, así en filosofía, según la misma regla, el sistema debe ser juzgado por sus frutos, y considerado frívolo si es estéril: más especialmente si, en lugar de los frutos de la vid y el olivo, muestra las púas y espinas de la disputa y la pretensión.»—FRANCIS BACON

En 1860 Pasteur observó que los microorganismos responsables de la fermentación butírica y la putrefacción pueden crecer en ausencia de oxígeno. Como hemos visto, este descubrimiento fue un acontecimiento culminante en la historia de las ciencias biológicas. Reveló un nuevo e inesperado escondrijo de la vida y sirvió como un fanal poderoso para buscar entre los más íntimos mecanismos de la química de los procesos vivos. Y, sin embargo, al descubrimiento de Pasteur al principio se le dio escasa importancia. Algunos dudaron de la validez de sus observaciones, y pocos se tomaron la molestia de repetirlas. Muchos miraron con desprecio la redacción de sus descripciones porque, impresionado por la motilidad de los organismos que había visto, se había referido a ellos con el término de «infusorios» para sugerir su naturaleza animal. Es verdad que la falta de familiaridad de Pasteur con la terminología del naturalista le hizo algo inexacto en la descripción de los fenómenos biológicos. Pero tenía el genio que le permitía salir más allá de los canales del conocimiento especializado hasta el vasto horizonte de las leyes biológicas generales, como lo indican las siguientes palabras desafiantes: «Si el progreso de la ciencia hace de este vibrión una planta o un animal, no tiene importancia; es un ser vivo, que se mueve, que vive sin aire y que es un fermento.» Así entró Pasteur en la biología, no por las puertas estrechas de la clasificación y la nomenclatura sino por el ancho camino de la fisiología y la función. Es uno de los hechos más notables de su carrera el que, aunque entrenado como químico principalmente, atacó los problemas biológicos adoptando, directamente, el punto de vista de que las actividades químicas de los agentes vivos son expresión de sus procesos fisiológicos. Mantuvo inmutable esta actitud aun cuando le puso en conflicto con los químicos y fisiólogos de su tiempo, que miraban con desconfianza cualquier intento de explicar los resultados químicos de la vida en términos de fuerzas vitales.

Tan rápidamente adoptó Pasteur la actitud fisiológica, en su forma más extrema, que resulta de interés documentar la evolución de sus conceptos con algunos datos.

Fue el 25 de febrero de 1861 cuando reseñó por vez primera la existencia de organismos en el ácido butírico y su naturaleza anaerobia y sugirió al mismo tiempo una relación causal entre la vida sin aire y la fermentación. El 12 de abril del mismo año mencionó ante la Sociedad Química que la levadura fermenta mejor en ausencia del aire, mientras que crece más abundantemente en su presencia. Estas observaciones le llevaron a sugerir de nuevo que existe una correlación entre la vida sin oxígeno y la capacidad para causar fermentación. Señaló al mismo tiempo que, en condiciones anaerobias, la levadura respira del oxígeno proporcionado por la sustancia en fermentación. Presentó la nueva teoría de la fermentación en términos más precisos el 17 de junio de 1861. «Además de los seres vivos hasta ahora conocidos que... pueden respirar y nutrirse sólo por la asimilación del oxígeno libre, parece que existe una clase de seres vivos capaces de vivir sin aire, obteniendo el oxígeno de ciertas sustancias orgánicas que sufren una descomposición lenta y progresiva durante el proceso de su utilización. Esta última clase de seres organizados está constituida por los fermentos, similares en todos sus caracteres particulares a los de la otra clase, que asimilan carbono, nitrógeno y fosfatos de igual manera que necesitan oxígeno como ellos, pero que difieren de ellos en su capacidad para utilizar el oxígeno obtenido de las combinaciones orgánicas inestables para su respiración, en lugar del oxígeno gaseoso libre.» Presentó de nuevo esta opinión bajo la forma de una ley biológica más general el 1 de marzo de 1863. «Nos vemos conducidos a relacionar el hecho de la nutrición acompañada de fermentación con la nutrición sin consumo de oxígeno libre. Ahí reside, ciertamente, el misterio de todas las verdaderas fermentaciones, y tal vez de muchos procesos normales y anormales de los seres vivos.»

Está claro que Pasteur llegó muy pronto al concepto bien definido de la relación entre la fermentación y los procesos metabólicos, y a comprender que este concepto tenía amplias implicaciones a la hora de entender el proceso químico de la vida. Aunque esta generalización es tal vez la idea más original y profunda de su larga carrera, nunca dedicó mucho tiempo al problema, y sus contribuciones a ella fueron sólo residuos de otras preocupaciones, particularmente de sus estudios sobre los aspectos técnicos de las industrias de la fermentación. La mayor parte de sus pensamientos fundamentales sobre los aspectos fisiológicos de la fermentación fueron publicados en los *Etudes sur la bière*. Este libro, que quería ser una guía para la industria cervecera, ilustra de un modo sorprendente la lucha por el control de la vida científica de Pasteur que se escondía bajo el aparente fluir lógico de su trabajo: el conflicto permanente entre su deseo de contribuir a la solución de los problemas prácticos de su ambiente, y su instinto emocional e intelectual de referirse a algunos de los grandes problemas teóricos de la vida.

Era entonces una creencia común que muchos mohos y otros microorganismos podían transformarse en levadura cuando se sumergían en una solución de azúcar, y dar lugar así a la fermentación alcohólica. El propio Pasteur permaneció largo tiempo con la impresión de que el organismo del vinagre *(Mycoderma aceti)*, que oxida el alcohol convir-

tiéndolo en ácido acético en presencia del aire, puede comportarse como levadura y producir alcohol del azúcar en condiciones anaerobias. Como estas creencias estaban en conflicto aparente con uno de los principales dogmas de la teoría microbiana de la fermentación, es decir, el concepto de especificidad, Pasteur destinó muchos experimentos ingeniosos a probar o rechazar su validez, llegando a la conclusión de que eran erróneas. Señaló que las levaduras eran ubicuas en la atmósfera, y que a menudo se introducían por accidente en las soluciones azucaradas junto con otras especies microbianas en estudio. Era necesario, por lo tanto, excluir esta posibilidad de error, y después de haberlo conseguido mediante precauciones laboriosas, expuso con orgullo: «Nunca más volví a ver levaduras ni fermentación alcohólica activa después de la inmersión de la flor del vinagre... En una época en que se aceptaba con facilidad la creencia de la transformación de las especies, tal vez porque exime de la exactitud rigurosa en la experimentación, no deja de tener interés el señalar que, en el curso de mis investigaciones sobre el cultivo de plantas microscópicas en estado de pureza, tuve una vez razón para creer en la transformación de un organismo en otro, del micoderma en levadura. No sabía cómo evitar la verdadera causa de mi engaño... que la confianza en mi teoría de los gérmenes me había permitido tan a menudo descubrir en las observaciones de otros.» Allí persistía, sin embargo, un caso de transformación aparente de un moho en levadura, que parecía estar confirmado por la experimentación.

En 1857, Bail había asegurado que el *Mucor mucedo,* un moho habitualmente presente en el estiércol del caballo, inducía una fermentación alcohólica típica cuando crecía, fuera del contacto del aire, por inmersión en una solución de azúcar. En lugar de los largos filamentos del micelio que son característicos del hongo cuando crece en presencia del aire, se producían cadenas de células redondas u oblongas que Bail había tomado por las de levadura de cerveza. Pasteur confirmó los hallazgos de Bail y estableció que se producían alcohol y burbujas de anhídrido carbónico en la solución de azúcar en ausencia de aire. Pero en lugar de interpretar estos fenómenos como una transformación del mucor en levadura, encontró en ellos una manifestación de su teoría fisiológica de la fermentación. Vio que las células cortas del mucor que fermentan en el fondo de las soluciones de azúcar recuperan inmediatamente su morfología típica del micelio cuando se las permite crecer de nuevo en presencia del aire. En estas condiciones, destruyen por completo el azúcar por oxidación completa, en lugar de convertirlo en alcohol. En otras palabras, el *Mucor mucedo,* que se parece y comporta como la levadura en condiciones anaerobias, reasume su aspecto y comportamiento de moho cuando se pone en contacto con el oxígeno. Así que, por lo menos en el caso de los microorganismos, existe una sorprendente correlación entre las características morfológicas y el comportamiento bioquímico. El fenómeno observado por Bail no se debía a una transformación de las especies, sino que representaba una transformación en la forma de la célula, resultado de la adaptación a una nueva vida. La alteración en la forma coincidía con un cambio en la función, y el fenómeno

Imagen al microscopio de las zigósporas del Mucor mucedo, moho habitualmente presente en el estiércol del caballo.

de Bail era meramente la expresión de una plasticidad funcional de la célula, que la permitía adaptarse al nuevo ambiente.

Pasteur se preguntó si en el caso de la verdadera levadura no ocurría un duplicado de esta situación. En concordancia con su idea preconcebida, descubrió que, en realidad, las características morfológicas y fisiológicas de la levadura estaban influidas también por las condiciones del desarrollo. La levadura crecía lentamente y llevaba la fermentación largo tiempo en ausencia total de aire, pero la cantidad de azúcar transformada en anhídrido carbónico y alcohol por unidad de levadura era entonces extremadamente alta. Por ejemplo, eran suficientes de 0,5 a 0,7 gramos de levadura para transformar 100 g de azúcar en alcohol en ausencia de aire, es decir, una proporción de 1 a 150 o de 1 a 200. Por otro lado, a medida que se aumentaba la cantidad de aire admitida durante la fermentación, el crecimiento de la levadura se hacía más rápido y la proporción del peso del azúcar fermentado respecto al peso de la levadura se hacía menor. Cuando a lo largo del proceso se proporcionaba un exceso de oxígeno, difícilmente se llegaba a formar alcohol, aunque el crecimiento de la levadura era muy abundante y la proporción de azúcar consumido respecto de la producción de levadura descendía hasta 4 ó 5. Se presentaban también algunas alteraciones en las características morfológicas de la levadura de un modo concomitante con estos cambios drásticos en el comportamiento fisiológico.

La correlación entre la morfología del hongo mucor y las condiciones del crecimiento han servido de guía para reconocer una correlación de una naturaleza más fundamental, a saber: la dependencia del comportamiento bioquímico según el suministro de oxígeno. Una vez antes en su vida, había dado Pasteur un ejemplo de este cambio de categoría, del nivel morfológico al funcional, con el fin de alcanzar una interpretación más amplia del fenómeno observado. Como se recordará, fue el reconocimiento de las diferencias morfológicas entre los cristales hemiédricos del ácido tartárico lo que le llevó a postular una relación entre la morfología cristalina, estructura molecular y la capacidad para rotar el plano de la luz polarizada. Con el progreso de sus estudios cristalográficos se había preocupado menos de la forma cristalina, y miraba la actividad óptica como una expresión más directa de la estructura mole-

cular. De forma semejante, la alteración morfológica del mucor le había hecho percibir un hecho más fundamental, a saber: que la fermentación era el resultado de la vida sin oxígeno.

Estos ejemplos nos ayudan a comprender la actitud de Pasteur hacia los estudios morfológicos para la investigación de los fenómenos naturales. Muchos estudiosos de la historia de la bacteriología, y hasta su discípulo Duclaux, han asegurado que Pasteur era indiferente por completo a las consideraciones morfológicas, y algunos han visto en este hecho una indicación de que tenía escaso interés por la biología. Esta interpretación parece injustificada. En todas las fases de su vida científica, Pasteur observó y describió las características morfológicas tan cuidadosamente como su entrenamiento y dotes naturales se lo permitían. Sin embargo, debido a que siempre tenía una meta específica en la mente y a que esta meta era siempre el entendimiento o el control de una función, utilizaba la morfología sólo como una guía en el descubrimiento de las relaciones funcionales. Aunque nunca estudió las características morfológicas por sí mismas, utilizó la morfología siempre que le suministraba una información útil para la descripción de un sistema. Para él, las técnicas experimentales y los procedimientos de observación nunca eran un fin en sí mismos, sino herramientas que debían usarse para la solución de un problema y abandonarse en cuanto existían otras más efectivas.

Pasteur había postulado en 1861 que la fermentación era el método que seguía la levadura para obtener energía del azúcar en condiciones anaerobias. En 1872 volvió a expresar estas opiniones en términos más precisos. «En condiciones normales, el calor (energía) necesario para el desarrollo procede de la oxidación de los alimentos (excepto en el caso de la utilización de la luz solar). En la fermentación viene de la descomposición de la materia fermentable. La proporción del peso de la materia fermentable descompuesta respecto del peso de levadura producida será más alta o más baja, dependiendo del grado de acción del oxígeno libre. El máximo corresponderá a la vida con participación de oxígeno libre.»

Esta teoría no explicaba el hecho conocido de que el acceso de una pequeña cantidad de oxígeno aumenta a menudo la cantidad de la producción de alcohol por la levadura, y en consecuencia, el oxígeno debe desempeñar cierto papel en el proceso de la fermentación. Para explicar esta discrepancia aparente entre la teoría y los hechos, Pasteur postuló que la respiración en presencia de oxígeno permite la acumulación de materiales de reserva que son utilizados durante las condiciones anaerobias. El oxígeno es beneficioso porque «la energía que comunica a la vida de la célula se usa luego progresivamente». Esta visión profética, de la cual sólo llegarían las pruebas medio siglo después, le fue sugerida a Pasteur por las consideraciones morfológicas. Describió con gran detalle la apariencia juvenil y el aumento de salud y vigor en la levadura expuesta al oxígeno. «Con el fin de multiplicar la levadura en una solución fermentable privada de oxígeno, las células deben ser jóvenes, llenas de vida y salud, bajo la influencia de la actividad vital que

deben al oxígeno libre que tal vez han almacenado... Cuando las células son más viejas, engendran formas extrañas y monstruosas. Si son más viejas aún, permanecen inertes en un medio libre de oxígeno. No se debe a que estas células viejas estén muertas, pues se las puede rejuvenecer en el mismo líquido después que se han aireado.»

La atención a otros problemas y las obligaciones que se consideraban más apremiantes impidieron a Pasteur ir más allá en la demostración de sus afirmaciones. Además, el conocimiento teórico y las técnicas experimentales no eran adecuadas para permitir en aquella época una demostración convincente de su teoría de la fermentación. Comprendiendo este hecho, predijo en una declaración visionaria que la evidencia final tendría que venir de la consideración de las relaciones termodinámicas, una ciencia que estaba entonces en pañales. «La teoría de la fermentación... se establecerá... el día en que la ciencia haya avanzado lo suficiente para relacionar la cantidad de calor que resulta de la oxidación del azúcar en presencia de oxígeno con la cantidad de calor extraído por la levadura durante la fermentación.»

Aunque el entendimiento de la relación entre el oxígeno y la fermentación se había derivado del estudio de la levadura, Pasteur estaba convencido de que, con las modificaciones adecuadas, el nuevo conocimiento sería válido para todas las células vivas. Señaló, por ejemplo, que las formas verdaderamente anaeróbicas, como el fermento butírico, «difieren de la levadura únicamente por el hecho de que son capaces de vivir de una forma regular y prolongada independientemente del oxígeno». Lechartier y Bellamy habían mostrado en 1869 que las células vegetales de los frutos maduros transforman una parte del azúcar que contienen en alcohol, si los frutos en cuestión se conservan en una atmósfera de dióxido de carbono. Esta observación sugería que la producción del alcohol a partir del azúcar era una propiedad general del funcionamiento del protoplasma de las plantas en ausencia de oxígeno libre. Con genio similar, Pasteur observó que, si las ciruelas se conservan en un recipiente abierto, toman oxígeno y se ablandan y endulzan, mientras que se mantienen duras, pierden azúcar y producen alcohol si se colocan en una atmósfera de anhídrido carbónico. Una y otra vez volvió a proclamar su creencia de que la fermentación es posible en todos los tipos de células. «La fermentación por la levadura es únicamente un caso particular de un fenómeno muy general. Todos los seres vivos son fermentos bajo ciertas condiciones de su vida...».

La relación entre fermentación, respiración y suministro de oxígeno no se limita a las células microbianas y vegetales. «De forma similar en la economía animal, el oxígeno da a las células una actividad de la que obtienen, cuando se las aparta de la presencia de este gas, la facultad para actuar en forma de fermentos.»

Pasteur nunca se dedicó a experimentos con tejidos animales. Por ello resulta de interés especial citar los puntos de vista que expuso, a priori, respecto al metabolismo del músculo:

«*a*) Un músculo en actividad produce un volumen de anhídrido carbónico mayor que el volumen de oxígeno consumido durante el mismo

tiempo... Este hecho no es sorprendente de acuerdo con la nueva teoría, pues el anhídrido carbónico que se produce resulta de procesos de fermentación, los cuales no tienen una relación obligada con la cantidad de oxígeno consumido. *b*) Se sabe que el músculo puede contraerse en medio de gases inertes... y que entonces se produce anhídrido carbónico. Este hecho es una consecuencia necesaria al continuar las células su vida bajo condiciones anaerobias, después de haber recibido el estímulo inicial del oxígeno... *c*) Los músculos se vuelven ácidos después de la muerte y la asfixia. Se comprende esto fácilmente si... continúa el proceso de fermentación en las células después de la muerte, que funciona entonces como un sistema anaerobio.»

Así llegó Pasteur a la conclusión de que todas las células vivas, cualesquiera que sean su especialización y peculiaridad, obtienen su energía de las mismas reacciones químicas fundamentales. Al seleccionar la levadura y el músculo como ejemplos de su ley, anticipó la bioquímica moderna no sólo en una de sus conclusiones más trascendentales, sino también en su metodología, pues el estudio de la levadura y de la fisiología muscular ha suministrado gran parte de nuestra comprensión de la química de los procesos metabólicos.

Es sorprendente que estas amplias deducciones de los puntos de vista de Pasteur sobre la unidad bioquímica esencial de la vida no impresionaran a sus contemporáneos y no se mencionen ni aun por Duclaux, quien entre todos los discípulos es el que asimiló más perfectamente el espíritu de los descubrimientos del maestro. Lo que más sorprende es que no vinieran a integrarse dentro del pensamiento fisiológico de su tiempo, ya que se adaptaban tan bien al deseo que entonces prevalecía de explicar los fenómenos fisiológicos en términos de reacciones fisicoquímicas. En realidad, Liebig, con su gran capacidad de generalización, había profetizado la nueva era en bioquímica en su última memoria de 1869, titulada *Sobre la fermentación y la fuente de la energía muscular*. Por ironía del destino, fue Pasteur el que expresó en términos químicos claros la analogía entre el metabolismo de la levadura y el trabajo muscular, dando así realidad a las visiones proféticas de su rival alemán.

Pasteur reiteró una y otra vez que, hasta donde había sido observada, la fermentación era una manifestación de la vida de la levadura, conectada causalmente con su metabolismo y crecimiento; pero los fisiólogos contemporáneos creían que era debida a fuerzas químicas simples y rehusaban explicar el fenómeno en términos de la acción vital. Está claro ahora que las opiniones que sobre la fermentación sustentaba Pasteur y las teorías químicas defendidas por sus adversarios no eran incompatibles, sino en realidad necesarias para complementarse unas con otras. Y, sin embargo, debido a que Pasteur estaba convencido de que la fermentación podía dar más provecho considerada como una función de la vida que como una reacción química, y porque sus oponentes no querían ponerse de acuerdo con él en este punto, debido a razones de filosofía científica, se suscitó una batalla de palabras en la que tomaron parte los cerebros más distinguidos del siglo XIX. Como resulta ob-

vio de la lectura de las declaraciones de los principales contendientes, no había una justificación real para esta controversia. Hubieran sido suficientes pequeños ajustes para poner de acuerdo las diferencias entre los defensores de ambas teorías: simplemente la voluntad de aceptar que todos los fenómenos naturales pueden investigarse con provecho a diferentes niveles de integración. A pesar de todo, este gran debate es de interés histórico porque recuerda las luchas de las que salió la fisiología moderna. Ilustra asimismo lo lento y doloroso de la maduración de un concepto científico que aparece tan simple a la siguiente generación, y revela que, como los demás hombres, los científicos se vuelven sordos y ciegos ante cualquier argumento o prueba que no encaja en el modo de pensar que las circunstancias le han llevado a seguir. La verdad tiene muchas facetas, y la faceta que uno llega a ver desde un ángulo determinado, y en cierto momento, difiere a menudo, pero no es necesariamente incompatible con la que se le aparece a otro que se aproxima desde una dirección diferente. Por esta razón, como decía Goethe: «La historia debería volverse a escribir una y otra vez, no porque se hayan descubierto hechos nuevos, sino porque aparecen nuevos aspectos, porque el que participa en el progreso de una era alcanza puntos de vista desde los cuales puede considerarse y juzgarse el pasado de una manera nueva.»

Dos décadas antes, el sarcasmo y los arrogantes edictos de Berzelius y Liebig habían acallado la voz de aquellos que creían en la naturaleza viva de la levadura. En 1860, el temperamento combativo de Pasteur había hecho que muchos científicos no se atrevieran a negar en público la teoría vital de la fermentación. En la ciencia como en la política, sin embargo, es más fácil acallar que convencer a los oponentes de una doctrina. Que la teoría vital tenía mala fama todavía lo reveló ante Pasteur el que en 1877 Marcellin Berthelot publicara las notas fragmentarias y sibilinas en las que Claude Bernard expresaba su creencia de que la fermentación alcohólica podía presentarse en ausencia de células vivas. Pasteur tenía ciertamente razón al considerar estas notas como un intento de proyectos y pensamientos que Bernard nunca había pensado en publicar, y acusó a Berthelot de utilizar la autoridad del ilustre fisiólogo sin el consentimiento de este último. Aun cuando estaba entonces seriamente comprometido en el estudio del carbunco, no dudó en comenzar nuevos experimentos para probar que las afirmaciones de Bernard estaban basadas en observaciones defectuosas y dirigió un ataque vigoroso en la Academia en contra de Bernard y de Berthelot. Así comenzó una controversia fantasmagórica, en la cual uno de los principales protagonistas estaba en la tumba y aparecía únicamente bajo la forma de unas pocas notas póstumas.

A través de sus meditaciones sobre el mecanismo de los procesos fisiológicos, Claude Bernard había intentado hallar un acuerdo entre dos tipos de hechos que él consideraba característicos de la vida. Por un lado, todos los fenómenos fisiológicos se rigen según las mismas leyes fisicoquímicas que gobiernan otros sucesos naturales. Por otra parte, es igualmente obvio que cada ser vivo tiene su propia potencialidad carac-

terística de desarrollo que, organizada de antemano en el huevo, es una expresión de las propiedades de las especies y parece depender de fuerzas que operan a un alto nivel de organización. Es este concepto binario el que Bernard, careciendo de explicación, expresó felizmente, a pesar de ello, en una famosa declaración: «Admitiendo que los procesos de la vida descansan sobre actividades fisicoquímicas, lo cual es verdad, no se aclara con eso la esencia del problema, pues no se encuentra por azar el que los fenómenos fisicoquímicos construyan cada ser según un plan preconcebido, y que produzcan la admirable subordinación y concierto armónico de la actividad orgánica. Hay una organización en el ser vivo, cierta clase de actividad regulada, que nunca se debe despreciar, porque es en verdad su característica más sorprendente.»

Este concepto influyó mucho en las opiniones de Bernard acerca del fenómeno de la fermentación alcohólica. Consideraba el crecimiento y desarrollo de la levadura como el resultado de un proceso sintético regulado por la propiedad de organización que caracteriza solamente a la vida. En cuanto a los procesos de la destrucción orgánica, se explicaban por simples leyes fisicoquímicas. Según Bernard, era este aspecto puramente destructivo de las actividades de la célula el que presidía el regreso de la materia muerta a la naturaleza, y el que, en el caso de la levadura, era responsable del desdoblamiento del azúcar en alcohol y en anhídrido carbónico. A pesar de su ropaje filosófico, estas opiniones eran esencialmente un regreso modernizado a los primeros conceptos de Berzelius y Liebig. La teoría química de la fermentación había recibido recientemente cierto apoyo con el descubrimiento de las enzimas, aquellos componentes complejos de las células vivas que catalizan ciertas reacciones orgánicas. Berthelot había demostrado en la levadura la existencia de un agente soluble, la enzima invertasa, que era capaz de desdoblar el azúcar de caña y que conservaba su actividad aun después de haber sido extraída en una forma soluble libre de células de levadura. ¿No sería posible que la levadura produjera también otra enzima capaz de convertir el azúcar en alcohol precisamente como la invertasa desdobla el azúcar de caña?

Con esta posibilidad en la mente, Bernard planeó experimentos para demostrar la producción de alcohol y anhídrido carbónico sin la intervención de la levadura, mediante el juego natural de fuerzas exteriores a la célula. Al tener la noción preconcebida de que la fermentación era el resultado de la desintegración celular, trató de encontrar la enzima alcohólica en las uvas que habían comenzado a pudrirse. Aplastó uvas maduras y observó en el jugo claro la producción de alcohol en cuarenta y ocho horas, como él decía, en ausencia de la levadura. En otros experimentos, es verdad, sí encontró glóbulos de levadura en el jugo fermentable; pero, confiando en que no los había introducido del exterior, vino a considerar la posibilidad de que la levadura fuera una consecuencia y no el origen de todo el proceso. Tan toscos eran sus experimentos que sólo sirven para demostrar cómo los investigadores, no importa lo grandes que sean, ponen poca voluntad en subyugar la forma de sus conceptos a la dura realidad de los hechos.

El químico francés Marcellin Berthelot (1827-1907).

Con técnica más exacta, Pasteur refutó e invalidó las opiniones de Bernard en unas pocas semanas y demostró una vez más la dependencia de la fermentación alcohólica de la presencia de levadura viva. Pero su triunfo era incompleto, pues Berthelot trataba de defender el punto de vista de Bernard al nivel de la doctrina bioquímica y no al nivel de los hechos. Berthelot razonaba que, en el análisis final, todos los procesos biológicos eran el resultado de reacciones químicas. Como se había visto que varias actividades de las células vivas eran causadas por enzimas capaces de permanecer activas en solución, lejos de las células que las habían producido, era posible que la producción de alcohol ocurriera en ausencia de las células vivas de la levadura. Ante esta hipótesis plausible, Pasteur pudo contestar con razón que la teoría de que la fermentación es correlativa con la vida de la levadura tomaba en consideración todos los hechos conocidos y no estaba en conflicto con ninguno. Tuvo sumo cuidado en definir su posición en estos términos exactos, tan cuidadoso en verdad, que su actitud sugiere la habilidad de un abogado que sabe cómo utilizar las declaraciones expresando la letra de la ley, aun cuando la causa que defienda esté en claro conflicto con el sentido común. En este extraño debate durante el cual los dos oponentes usaron un pulido lenguaje académico para acusarse mutuamente de mala fe, los hechos estaban del lado de Pasteur, pero la historia iba pronto a demostrar que Berthelot hablaba por la boca del sentido común del futuro.

Veinte años después de la controversia se vino a conocer un nuevo hecho que estableció de un golpe la teoría que Liebig, Berthelot, Bernard y sus seguidores habían intentado mantener mediante la lógica, la analogía y malos experimentos. En 1897, Büchner extrajo de la levadura una fracción soluble, que llamó «zimasa» y que era capaz de producir alcohol del azúcar en ausencia de células de levadura vivas y con forma. Es desafortunado para la dignidad del método científico que esta hazaña trascendental no fuera el resultado de un proceso intelectual ordenado, sino el resultado imprevisto de un accidente. Hans y Eduard Büchner estaban intentando romper la levadura triturándola con arena con el fin de obtener una preparación para utilizarla con propósitos terapéuticos. El jugo de levadura que así se obtenía se iba a emplear en experimentos sobre animales, pero sufría una rápida alteración. Como los antisépticos habituales no eran adecuados para evitar el desarrollo de las bacterias, Büchner agregó azúcar a una elevada concentración en el jugo como preservativo. Ante su gran sorpresa, se produjo un desprendimiento de anhídrido carbónico acompañado de la producción de algo de alcohol inmediatamente, y fue la acción definitiva del jugo sobre el azúcar añadido lo que le reveló que la fermentación tenía lugar en ausencia de células de levadura vivas.

A pesar del hecho de que el descubrimiento de la zimasa era el resultado de un accidente, la casualidad aparece como el actor principal sólo en la última escena de este gran drama. En realidad, los fisiólogos y químicos habían trabajado de firme durante largo tiempo tratando de liberar la enzima productora de alcohol de la levadura, comenzando en

1846 con Lüdersdorff. El propio Roux ha señalado que el mismo Pasteur había intentado triturar, congelar y plasmolizar las células de levadura con este propósito en la mente, pero todo en vano; y fueron muchos los que también fallaron, antes y después de Pasteur. Büchner fue el heredero afortunado de una larga tradición de experiencia que le había puesto alerta sobre el problema y sus dificultades. Como en muchos otros descubrimientos, el nuevo fenómeno apareció en la lid, aparentemente por casualidad, como consecuencia de una investigación dirigida hacia otros fines, pero afortunadamente cayó bajo el ojo perspicaz de un observador que comprendió la importancia del fenómeno y le dio la correcta interpretación.

El descubrimiento de Büchner inauguró una nueva era en el estudio de la fermentación alcohólica, y de allí evolucionó el análisis de los fenómenos fisiológicos en términos de los múltiples pasos individuales del metabolismo intermedio. La prueba de la existencia de la zimasa constituyó un paso atrás violento en la teoría fisiológica de Pasteur, y los bioquímicos comenzaron a considerar las células como sacos de enzimas que realizan esta u otra función sin preocuparse mucho de su significación para la vida del organismo. Al cabo de una década, sin embargo, se comenzó a manifestar por sí mismo un nuevo punto de vista que fue expresado con vigor por el fisiólogo alemán Rubner: «La doctrina de las enzimas y sus acciones debe ponerse en relación con los procesos vivos...; la literatura moderna no ofrece ninguna explicación de la parte que desempeña la fermentación del azúcar; ésta se considera meramente como un resultado de la acción de los fermentos. Nuestro conocimiento desde el punto de vista biológico no puede satisfacerse con esta declaración; la vida de un organismo no puede consistir sólo en la producción de un fermento que produce la descomposición.»

Resulta hoy obvio que el proceso químico de una célula sirve para una función y que existe siempre una relación entre los cambios químicos que se observan dentro de un organismo vivo y la variedad de actividades de este organismo. Por otro lado, es igualmente cierto que todos los cambios químicos que ocurren dentro de las células vivas se producen por medio de una maquinaria, constituida en una gran parte por enzimas, y alimentada por reacciones que liberan energía, las cuales pueden operar fuera de la célula y funcionar independientemente de la vida. Las teorías fisiológica y química de la fermentación y del metabolismo son, por lo tanto, correctas ambas, y ambas también necesarias para la descripción de los procesos vivos. De hecho, incluso la combinación de las dos teorías puede resultar insuficiente para explicar la vida, pues la vida es más que su mecanismo y sus funcions. Se caracteriza por la integración y la organización, como siempre insistió Claude Bernard, la cual «produce la admirable subordinación y el concierto armonioso de la actividad orgánica». El definir la naturaleza y mecanismos de esta misteriosa organización será el estimulante de las generaciones venideras.

Por nuestra ventajosa posición en el tiempo, resulta posible recoger la orientación general de una larga serie de experimentos y debates de la cual ha evolucionado la doctrina moderna de la química de la fer-

mentación. Lavoisier, Gay-Lussac y Dumas habían utilizado, hasta donde su talento lo permitía, técnicas químicas cuantitativas para establecer una tabla de equilibrio aproximado describiendo la conversión del azúcar en alcohol y anhídrido carbónico. Sus ecuaciones, sin embargo, no proporcionaban ninguna huella respecto a la naturaleza de las fuerzas que intervenían en las reacciones. Cuando Pasteur se acercó al problema en 1856, estaban en oposición dos ideas en conflicto: por una parte la creencia de que la levadura era una pequeña planta viviente, y la fermentación una expresión de su vida, había sido adecuadamente señalada veinte años antes por Cagniard de la Tour, Schwann, Kützing y Turpin; pero sus opiniones, por otra parte, habían sido pasadas en silencio por Berzelius y Liebig, que enseñaban cómo el desdoblamiento de la molécula de azúcar se llevaba a cabo por el contacto con sustancias orgánicas inestables. Los experimentos de Pasteur establecieron fuera de duda que, bajo las condiciones habituales de la fermentación, la producción de alcohol era el resultado de la vida de la levadura en ausencia de oxígeno; la fermentación era el proceso mediante el cual obtenía la levadura del azúcar la energía necesaria para el crecimiento bajo condiciones anaerobias.

Berthelot, que al igual que Liebig había sostenido originalmente la idea de que la fermentación estaba causada por las proteínas muertas y que la levadura actuaba en virtud de las proteínas que contenía y no como agente vivo, había moldeado entonces sus opiniones tomando en consideración los hechos demostrados por Pasteur. La siguiente declaración, que publicó Berthelot en 1860, define el papel de las enzimas recién descubiertas en las actividades químicas de las células:

«El trabajo de M. Cagniard de la Tour, y sobre todo el de M. Pasteur, han demostrado que la levadura es una planta micodérmica. Pienso que esta planta no actúa sobre el azúcar a través de una acción fisiológica, sino meramente por medio de los fermentos que es capaz de segregar, al igual que la cebada germinada segrega diastasa, las almendras emulsina, el páncreas animal pancreatina, y el estómago segrega pepsina... Los fermentos insolubles, por otro lado, permanecen fijos a los tejidos y no se pueden separar de ellos.

»En resumen, en los casos que se enumeran arriba, que se refieren a fermentos solubles, se ve claramente que el propio ser vivo no es el fermento, sino su productor. Los fermentos solubles, una vez que han sido producidos, funcionan independientemente de cualquier acto vital; esta función no indica necesariamente una correlación con algún fenómeno fisiológico. Insisto en estas palabras para no dejar duda en mi manera de describir la acción de los fermentos solubles. Es evidente, además, que cada fermento puede formarse preferentemente, si no exclusivamente, por una u otra planta o animal; este ser organizado produce y aumenta el fermento correspondiente en la misma manera en que produce y aumenta otra sustancia químicamente definida de que está compuesto. De ahí el éxito de los muy importantes experimentos de monsieur Pasteur sobre la siembra de fermentos, o más bien, en mi opinión, de los seres organizados que segregan los verdaderos fermentos.»

También Liebig había llegado entonces a considerar la levadura como una pequeña planta viviente. A pesar de los graves errores de hecho que contienen, sus largas y confusas memorias de 1869 son de interés porque muestran cómo su mente filosófica y generalizadora intentaba llegar a una reconciliación entre las teorías vitalística y química de la fermentación.

«Admito —escribió— que la levadura consiste en células vegetales, que se producen y multiplican en un líquido que contiene azúcar y una sustancia albuminoidea. La levadura es necesaria para la fermentación con el fin de que se forme en sus tejidos, mediante la sustancia albuminoidea y el azúcar, una cierta combinación inestable, que sola es capaz de sufrir la desorganización...

»Parece posible que la única correlación entre el acto fisiológico y el fenómeno de la fermentación es la producción por la célula de levadura viva de una sustancia que, debido a sus propiedades peculiares similares a aquellas ejercidas por la emulsina sobre la salicina o la amigdalina, lleva a cabo la descomposición del azúcar en otras moléculas orgánicas. Según esta idea, el acto fisiológico sería necesario para la producción de esta sustancia, pero no tendría otra relación en la fermentación.»

Pasteur se expresó en completo acuerdo con esta declaración. Es lamentable, por lo tanto, que Liebig no aprovechara la oportunidad para un entendimiento completo al rehusar admitir que se podía producir la fermentación haciendo crecer levadura en un medio sintético libre de materia albuminoidea extraña, negativa que basaba en el fracaso de sus propios intentos, así como en argumentos irrelevantes y triviales: «Si fuera posible producir o multiplicar la levadura añadiendo amoniaco al líquido fermentable, la industria pronto se aprovecharía de este hecho...; pero, hasta ahora, nada ha cambiado en la fabricación de la cerveza.»

Poco después Traube intentó también formular de nuevo el mecanismo de la fermentación incorporando todos los hechos conocidos en una sola teoría, en particular los recientes descubrimientos de Pasteur sobre el papel del oxígeno en el proceso: «El propio protoplasma de las células de las plantas es en sí, o contiene, un fermento químico que produce la fermentación alcohólica del azúcar; la efectividad de este fermento parece que depende de la presencia de la célula viva, pues nadie hasta ahora ha conseguido extraerlo en forma activa. En presencia del aire, este fermento oxida el azúcar fijando el oxígeno en él; en ausencia de aire, el fermento descompone el azúcar transportando oxígeno de un grupo de átomos de la molécula del azúcar a otro grupo, dando así por un lado un producto de reducción (alcohol) y por el otro un producto de oxidación (anhídrido carbónico).» También estuvo de acuerdo con esta declaración Pasteur, pero tampoco en esta ocasión pudo llegar a un acuerdo con Traube, quien negaba que la levadura pudiera crecer y fermentar con sales de amonio como única fuente de nitrógeno.

Así, a pesar de la falta de pruebas experimentales directas, la idea de que la fermentación alcohólica era debida a la acción química de alguna sustancia elaborada por la célula, y no directamente a la acción vi-

tal de la célula, encontró defensores aun entre aquellos que consideraban la levadura como una planta. Claude Bernard expresó este punto de vista en la siguiente declaración a sus discípulos: «Los experimentos de Pasteur son correctos, pero sólo ven un lado de la cuestión... La formación de alcohol es un fenómeno muy general. Es necesario desterrar de la fermentación la vitalidad de las células. No creo en ello.» El 20 de octubre de 1877, en las últimas notas de laboratorio escritas antes de su muerte, escribió de nuevo que la fermentación «no es vida sin aire, ya que en el aire, lo mismo que fuera de él, se puede formar el alcohol sin levadura... Se puede producir alcohol por un fermento soluble en ausencia de vida».

Aunque la afirmación de Pasteur acerca de que la producción de alcohol era una manifestación de la vida se mantuvo incontrovertida por la experiencia hasta 1897, resulta claro que todos los principales fisiólogos de la época consideraban la fermentación como originada por enzimas que, teóricamente por lo menos, podían actuar independientemente de la vida de la célula que las producía. El propio Pasteur no había ignorado el posible papel de las enzimas. Como ha sido mencionado, hasta había tratado de separar el fermento alcohólico soluble de la levadura viva. La declaración sobre el problema aparece en los términos más precisos desde 1860 en su primera memoria sobre la fermentación alcohólica.

«... Si se me pregunta cuál es la naturaleza del acto químico mediante el cual se descompone el azúcar y cuál es su verdadera causa, contesto que lo ignoro por completo.

»¿Debemos decir que la levadura se alimenta de azúcar y excreta alcohol y ácido carbónico? ¿O debemos mantener mejor que la levadura produce alguna sustancia de la naturaleza de la pepsina, que actúa sobre el azúcar y luego desaparece, ya que no se encuentra tal sustancia en los líquidos fermentados? No tengo nada que contestar a estas hipótesis. Ni las admito ni las rechazo; deseo contenerme y no ir más allá de los hechos. Y los hechos me dicen simplemente que todas las verdaderas fermentaciones son correlativas con fenómenos fisiológicos.»

Declaró de nuevo en 1878: «No me sorprendería del todo que se indicara que las células de la levadura pueden producir un fermento alcohólico soluble», pero también indicó: «Las enzimas son siempre producto de la vida, y en consecuencia, la declaración de que la fermentación está causada por una enzima no contribuye a nuestro posterior conocimiento del problema, pues ninguno ha conseguido separar la enzima de la fermentación en una forma activa, libre de células vivas.» Debido a este énfasis constante y despótico sobre los aspectos del problema que ya habían sido probados, y su desprecio por especulaciones que no conducían al experimento, la actitud de Pasteur aparece para algunos como estrecha y falta de sentido filosófico. Al mismo tiempo, sin embargo, estas mismas limitaciones le hicieron el trabajador más efectivo de todos los participantes en el debate. Ante todas las teorías y discusiones podía replicar con hechos que había establecido, y que fueron en verdad las bases de todos los descubrimientos subsiguientes. «Se está

de acuerdo conmigo si se acepta que: 1) la verdadera fermentación depende de... organismos microscópicos; 2) estos organismos no tienen un origen espontáneo; 3) la vida en ausencia de oxígeno es concomitante con la fermentación.»

La respuesta de Pasteur a Liebig en 1871 revela con acrimonia una actitud característica de la mente del experimentador, que procede de un campo limitado a otro, en contraste con la mente más especulativa que intenta llegar a un concepto que abarca todo mediante un proceso intelectual amplio. «Si usted está de acuerdo conmigo en que la fermentación es correlativa con la vida y la nutrición de la levadura, estamos de acuerdo con el problema fundamental. Si existe acuerdo entre nosotros, preocupémonos, si así lo desea, de las causas íntimas de la fermentación, pero reconozcamos que es un problema muy diferente del primero. La ciencia procede por contestaciones sucesivas a preguntas progresivamente más sutiles, acercándose cada vez más a la verdadera esencia de los fenómenos.»

Procede, tal vez, concluir la relación de esta celebrada controversia, a la que contribuyeron con su genio y también con sus fragilidades tantas de las más vigorosas mentes del siglo XIX, citando una carta que Liebig escribiera a Duclaux en 1872, un año antes de su muerte.

«He pensado a menudo, en mi larga carrera práctica y a mi edad, cuántos sufrimientos y cuántas investigaciones son necesarios para probar hasta sus raíces un fenómeno algo complicado. La mayor dificultad procede del hecho de que estamos acostumbrados a atribuir a una sola causa lo que es producto de varias, y la mayoría de nuestras discusiones vienen de ahí.

»Sería muy doloroso si M. Pasteur sintiera desprecio por mis observaciones en mi último trabajo sobre fermentación. Parece haber olvidado que sólo intenté sostener con hechos una teoría que sugerí hace más de treinta años, y que él atacó. Creo que tenía derecho a defenderla. Hay pocos hombres a quienes yo respete más que a M. Pasteur, y puede estar seguro de que ni en sueños atacaría su reputación, tan grande y tan bien ganada. He atribuido una causa química a un fenómeno químico, y eso es todo lo que he intentado hacer.»